Die Erdwärme als pflanzengeographischer Factor

von

Franz Krašan.

A. Sonnenwärme und Erdwärme. B. Die Vegetation in ihren Beziehungen zur Erdwärme und jenen Factoren überhaupt, die von der Wärme mittelbar oder unmittelbar abhängen. (Nach Beobachtungen aus dem Küstenland, Steiermark, Kärnten und Krain). I. Das Gesetz der Verticalzonen. II. Einflüsse, welche eine Umkehrung der Zonen bewirken. III. Wärmeleitungsfähigkeit und Strahlungsvermögen stehen bei den mineralischen Substanzen des Erdbodens im umgekehrten Verhältnisse zu einander. IV. Einfluss der Wärme auf das Ernährungssystem der Pflanzen. V. Gegensätze der mittelländischen und nordischen Vegetation in Bezug auf ihre Existenzbedingungen. — C. Abhängigkeit der Niederschläge und gewisser Lufterscheinungen von der Wärmeleitungs- und Strahlungsfähigkeit des Bodens. D. Die Einflüsse einer mehr westlichen oder mehr östlichen (continentalen) Lage sind für die Ausdehnung der verticalen Vegetationszonen bei weitem nicht so maßgebend, als die localen bodenklimatischen Factoren.

A. Sonnenwärme und Erdwärme.

Die gegenwärtige Verbreitung der Pflanzenwelt ist das Endergebniss ihrer gesammten Entwicklung, eines Processes, der nicht nur den Lebenskreis des einzelnen vegetabilischen Organismus von der Keimung an bis zur Fruchtreife, sondern auch die Geschichte der Abstammung, Formentwicklung und allmählichen Ausbreitung der Gewächse umfasst, mit seinen Anfängen daher bis in die früheste Periode des Erdenlebens zurückreicht; sie ist das Schlussglied einer unendlichen Kette von Wechselbeziehungen zwischen der Pflanze und ihrer Außenwelt. Natürlich können wir nur dieses Schlussglied deutlich sehen, ältere Glieder werden uns, durch die theilweise aufgeschlossene Vorwelt, in minder klaren Umrissen sichtbar. Aber die Art der Verkettung ist noch ein offenes Problem, zu dessen vollständiger Lösung weder das bis auf den heutigen Tag herangezogene Beobachtungsmaterial, noch die gegenwärtig bekannten Naturgesetze ausreichen. Doch jede auf dem Gebiete der Phytopaläontologie gemachte Entdeckung, jede Erweiterung unseres Wissens über die biologischen Erscheinungen und statistischen Verhältnisse der jetzt lebenden Pflanzen, jeder Fortschritt unserer Kenntnisse der anorganischen Welt, soweit sie das Pflanzenreich beherrscht, führt uns diesem Ziele näher und bestärkt uns in der Zuversicht, dass dasselbe den vereinten Bestrebungen der Forscher erreichbar ist.

Gleichwohl wäre ein vorzeitiger Optimismus nicht am Platz, denn viel

zu lückenhaft sind die Documente der Vorgeschichte der Pflanzenwelt und viel zu wenig jene physikalischen Factoren bekannt, welche fördernd oder ausschließend, bestimmend und ändernd auf die Pflanze einwirken, um voraussetzen zu können, dass die definitive Beantwortung der Hauptfragen der Pflnzengeographie schon in nächster Zukunft möglich sei. Gerade die wichtigsten Fragen hängen mit denen über das Verhältniss der Erd- und Sonnenwärme zum Erdkörper, resp. dessen Oberfläche, zusammen. Aber wie dürftig ist unser Wissensschatz, sobald wir den Boden der unmittelbaren Beobachtung verlassen und nach jenem Urquell der Wärme ausblicken, aus dem alle Organismen mittelbar die Kräfte ihres Lebens schöpfen. Wie vielerlei Ansichten wurden nicht schon über den kosmischen Ursprung der Erdwärme und die nach der Tiefe zunehmende Temperatur geäußert, Ansichten, die von dem Ringen des menschlichen Geistes nach einem lichtvollen Einblick in die Hauptwerkstätte der Natur rühmliches Zeugnis geben, sich aber nur solange hehaupten, als jene Classe von Naturerscheinungen, auf die sie sich gründen, allein im Auge behalten wird[1]. Sind indessen diese Ansichten noch so sehr verschieden, so hält man doch allgemein den Einfluss der Erdwärme auf die Pflanzen-

---

1) Volger und Mohr stützen sich bei ihren Versuchen, die nach der Tiefe zunehmende Temperatur der Erde zu erklären, beide auf die neuere Wärmetheorie, wenn sie auch in etwas verschiedener Weise dabei vorgehen. Nach Volger sind einerseits die Verdichtung, welcher eine jede Schicht nach ihrer Ablagerung in zunehmendem Grade unterworfen ist, so wie Schicht um Schicht immer neue Massen sich über derselben anhäufen, andererseits der Stoffumsatz in Folge der Oxydation gewisser einfacher Körper und Verbindungen, wie Schwefel und Schwefelmetalle, Eisen- und Manganoxydul, Stein- und Braunkohlen etc. ausgiebige Wärmequellen. Dabei ist freilich der augenfällige, sehr wichtige Umstand außer Acht gelassen, dass die Ablagerung neuer Massen nur im Meere, in Seebecken, an Flussufern und Mündungen der Ströme, sowie auch sonst in den Niederungen des Festlandes stattfindet, nicht aber auf Hochebenen, an den emporgerichteten Seiten der Gebirge etc., wo nichtsdestoweniger die Temperatur mit der Tiefe zunimmt. Auch die andere vermeintlich ausgiebige Wärmequelle, die auf chemischen Vorgängen in der Erde beruhet, erweist sich bei genauerer Betrachtung als sehr unzulänglich, da sie von der Menge des durch die Luft und die eindringenden Gewässer dem Erdinnern zugeführten Sauerstoffes abhängt, einer Quantität, die schon an sich gering ist, mit der Tiefe aber noch geringer wird, anstatt größer zu werden, was doch sein müsste, um steigende Temperaturen hervorzubringen. — Ebenso unhaltbar ist die Hypothese, welche die auf der Erde und in der Erdrinde vor sich gehenden Bewegungen in Erwägung zieht, um durch die hierdurch erzeugte Wärme die Temperatur des Erdbodens, so weit dieselbe nicht von der Sonne abhängig ist, partiell wenigstens zu erklären; denn solche Bewegungen können doch zunächst nur vom Wasser ausgehen, ob dieses direct, der Schwere folgend, durch die Klüfte und Poren der Erdrinde in die Tiefe sinkt, oder das Innere der Erdrinde erodirend und lösend Hohlräume bildet, welche theils plötzliche, theils allmähliche Senkungen und Verschiebungen veranlassen; in beiden Fällen entsteht in Folge von Stoß und Reibung Wärme, worauf besonders Mohr ein großes Gewicht legt. Allein man sollte doch beachten, dass dieses Wasser nur durch Verbrauch von Wärme an den bestimmten Ort gelangt, wo es Wärme erzeugt, denn es muss erst in Dampf verwandelt und gehoben werden, bevor es

welt für sehr gering, namentlich im Vergleich mit der von der Sonne kommenden Wärme, von der augenscheinlich das gesammte organische Leben abhängt. »Die Sonnenwärme ist demnach auf der Oberfläche allein Herrin«[1]).

Viele Physiker haben sich daher bemüht, die gesammte Wärmemenge zu bestimmen, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen per Minute zugeführt wird. POUILLET construirte zu diesem Zwecke einen sehr sinnreichen Apparat. Indem er das Wärmequantum bei verschiedenem Stande der Sonne, also verschieden großer Dicke der von den Strahlen durchlaufenen Luftschichten bestimmte, konnte er ein Gesetz über den Einfluss dieser Dicke ableiten und daraus berechnen, dass bei heiterem Himmel von den Strahlen, welche senkrecht auf die Erde fallen, circa $^1/_4$ innerhalb der Atmosphäre absorbirt werden.

Da die Luft, und nach den neuesten exacten Untersuchungen von MAGNUS auch die Wasserdünste, solange ihre Temperatur entschieden über dem Thaupuncte steht, diatherman, d. i. für die Wärme ganz durchlässig sind, so kommt diese Absorption hauptsächlich auf Rechnung der condensirten Dünste (Nebel) und des in der Luft suspendirten Staubes. Von allen Strahlen, welche überhaupt die beleuchtete Erdfläche treffen, werden 0·4 Antheile in der Atmosphäre zurückgehalten. Würde keine Absorption stattfinden, so würde nach POUILLET's Messungen im Durchschnitte jeder Quadratdecimeter Erdoberfläche per Minute 88·16 Wärmeeinheiten aufnehmen, also im Jahre 23168. Es könnten also ebenso viele Liter Wasser um 1° C. erwärmt werden. Diese Wärme würde hinreichen, eine 30·9 Meter[2]) dicke Eisschichte zu schmelzen. Sind diese Zahlen auch nicht genau, so vermögen sie doch eine angenähert richtige Vorstellung von der enormen Wärmemenge zu geben, welche die Erde von der Sonne empfängt.

In den afrikanischen Wüsten, wo bekanntlich wie an allen entblößten Stellen der Erdoberfläche wegen des Mangels an Feuchtigkeit und Vegetation die wärmende Wirkung der Sonnenstrahlen in vollem Maße zur Geltung kommt, steigt die Hitze des Sandes oft auf 60 bis 65° C., ja einzelne Beobachter haben als Maximum zeitweise ein Steigen der Temperatur des sandigen Bodens in der heißesten Zeit des Tages bis auf 70° C. constatirt.

Einen grellen Gegensatz zu dieser excessiven Temperatur bildet die Kälte des sibirischen Festlandes, denn in Jakutzk unter 62° n. Br. hat der

---

zu Regen wird etc. Mit Sicherheit ließe sich hier nur ein Kreislauf der Wärme nachweisen, keineswegs aber eine ursprüngliche Wärmequelle, weil jede mechanische Bewegung eine bewegende Ursache voraussetzt, die schließlich mit einem Verbrauch von Wärme unzertrennlich verbunden ist. Die Unhaltbarkeit der MOHR'schen Senkungstheorie wird übrigens von PFAFF ziffermäßig nachgewiesen. Man vgl. Allgem. Geologie als exacte Wissenschaft, 1873. p. 12—25.

1) SAPORTA, die Pflanzenwelt vor dem Erscheinen des Menschen, 1881, p. 110.

2) JOHN HERSCHEL fand 25·74 Meter.

kälteste Monat — 43 ° C., in Werchojansk unter 67½ ° n. Br. gar — 48 · 6 ° mittlerer Temperatur, das Minimum geht aber natürlich noch um mehrere Grade tiefer (bis — 63 °), während auf der Melville-Insel unter 75 ° n. Br. dieser Monat nur — 35 · 1 ° hat. Allein in Jakutzk hat der wärmste Monat + 20 · 3 °, so dass während des kurzen, aber heißen Sommers dort Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut werden können, der in einer Tiefe von 1 Meter beständig gefroren bleibt. Auf der Melville-Insel hat dagegen der wärmste Monat nur + 5 · 7 °, ein Factum, das so grell wie kein anderes die excessiven Gegensätze zwischen Continental- und Inselklima illustrirt.

Trotz der vielen Wärme, die während des Sommers dem sibirischen Binnenland von der Sonne zugeführt wird, bewirkt der Wärmeverlust durch Ausstrahlung während des Winters einen so enormen Herabgang der Temperatur, dass Minima von — 55 ° bis — 60 ° häufig vorkommen. Höchst wahrscheinlich dürfte daher die größte überhaupt auf Erden mögliche Kälte im unbewohnten Innern Sibiriens nördlich vom 65. Parallelkreise nachzuweisen sein und sicherlich — 65 ° erreichen; wenigstens stimmen die Angaben der Nordpolfahrer, sowohl derjenigen, welche westlich von Grönland als auch derjenigen, die von Norwegen aus gegen den Nordpol vordrangen, darin mit einander überein, dass der Kältepol [1] keineswegs mit einem der nördlichsten Punkte der Erde zusammenfalle, was sich zweifellos durch die mildernde Wirkung des nassen Elementes, das den Temperaturextremen abhold ist, erklärt. Mögen daher um den Nordpol auch größere Festlandsmassen liegen, das sibirische Festland können sie an Ausdehnung doch bei weitem nicht erreichen und ein eigentlich continentales Klima ist darum dort kaum zu erwarten.

Die beiden Extreme von + 70 ° und — 65 ° geben uns ziemlich genau die Grenzen an, zwischen denen sich die Wirkungen der Sonnenstrahlen auf der Oberfläche der Erde bewegen. Daraus ergiebt sich, dass die Sonne durch Bestrahlung die Temperatur der Erdoberfläche um circa 135 ° zu erhöhen im Stande ist, weil, sobald dieselbe aufhören würde zu strahlen, die Temperatur im Norden sowohl als in den Äquatorialgegenden der tiefsten Kälte Sibiriens gleichkommen müsste. Man kann nämlich kaum annehmen, dass während des Minimums von — 65 °, das kurz vor oder während des Sonnenaufgangs stattfindet, die von der Sonne kommende vortägige Wärme noch irgend welche namhafte Wirkung haben könne, da sie sich während der lange dauernden Nacht völlig oder doch fast völlig verflüchtigt haben muss.

Von der angeblichen Wärmewirkung des Himmelsraumes können wir hier ganz absehen, denn die von der Sonne und den übrigen Gestirnen

---

1) Der sogen. Kältepol, d. i. der Punkt (Ort) mit der niedrigsten mittleren Jahrestemperatur im Norden darf nicht als ein fixer Punkt gedacht werden, er ist vielmehr ungefähr auf der Parallele der Melville-Insel ziemlich weit gegen Westen verschiebbar.

ausstrahlende Wärme vermag in dem luftleeren Raume keine Temperatur zu erzeugen, die Strahlen gehen durch denselben wirkungslos; nur dort, wo sie von luftförmigen, tropfbaren oder festen Körpern aufgefangen und absorbirt werden, bringen sie einen Temperatureffect hervor, und zwar ist letzterer um so bedeutender, je mehr Strahlen zurückgehalten werden. Absolut diathermane Körper würden die Strahlen ohne Schwächung, aber auch ohne eine Wärmewirkung durchlassen. Solche Körper giebt es freilich nicht, absolut diatherman ist nur der leere Raum; letzterer kann daher unmöglich eine Temperatur haben, wir können nur sagen, dass er wärmefrei ist, weil die Strahlen selbst noch keineswegs Wärme sind, sondern unter den angegebenen Umständen erst Wärme erzeugen.

Wegen ihrer selbst durch sehr empfindliche thermoëlektrische Apparate kaum nachweisbaren Wirkung kommt auch die Strahlung der Fixsterne hier nicht in Betracht, indem sie die Temperatur der Erdoberfläche nicht einmal um einen namhaften Bruchtheil eines Grades erhöhet. Die Erde besitzt demnach nur in der Sonne eine wirkliche und bedeutende, außer ihr liegende Wärmequelle. Da aber die obersten Bodenschichten nur wenig leiten, so kann die Wärme nicht anders, als sehr langsam und geschwächt in die Tiefe dringen; wenn aber die Oberfläche erkaltet, so verlieren die unteren Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme. Schon in geringer Tiefe werden desshalb die Temperaturschwankungen unbedeutender sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden bei einer Tiefe von 6 Decimetern schon die täglichen Temperaturwechsel und in einer Tiefe von 24 Metern sogar die jährlichen Variationen, so dass hier beständig eine Temperatur herrscht, die nur wenig von der mittleren des Ortes abweicht[1]).

Wenn nun die Sonne, wie oben gezeigt wurde, eine Temperaturerhöhung von circa 135° C. an der Oberfläche der Erde bewirkt, so unterliegt es keinem Zweifel, dass im Falle des Erlöschens dieser Wärmequelle alle Organismen vor Kälte erstarren müssten, Wasser und selbst das Quecksilber könnten nur als feste Körper bestehen; allein dürften wir

---

1) In der Tiefe, wo die Temperatur constant zu werden beginnt, hört aber die Wirkung der Sonne überhaupt noch nicht auf. Wird in einer der heißesten Äquatorialgegenden mit etwa 40° C. mittl. Jahrestemperatur die Wirkung der Sonnenstrahlung weggedacht, so möchte die Temperatur auf circa — 65° C. sinken, was einer Differenz von 105° gleich käme und man müsste daher (für je 1° 33 Meter Tiefe angenommen) $105 \times 33 = 3465$ Meter tief bohren, um zur Temperatur von 40° zu gelangen, wesshalb 3465 Meter angenähert die Tiefe ausdrückt, bis zu welcher die Sonnenwärme in den heißesten Gegenden der Erde hinabdringt. Denselben Betrag ungefähr erhalten wir, indem wir annehmen, dass der Antheil 135° der Sonnenwirkung durchschnittlich mit je 25 Meter Tiefe um 1 Grad abnimmt. In der That nimmt nahe an der Oberfläche die Wirkung der Sonnenwärme mit je 25 Meter Tiefe um viel mehr als 1° ab; dort aber wo der Einfluss der Sonne nahezu aufhört, also 2000—3000 Meter tief, wahrscheinlich nur um einen Bruchtheil eines Grades.

sagen, dass es alsdann auf Erden keine oder so viel wie keine Wärme gäbe? Die Physik warnt uns vor der Bejahung dieser Frage, wiewohl eine Betheiligung des Erdinnern an der Erwärmung der Oberfläche weder durch das Gefühl, noch durch directe Thermometerbeobachtungen constatirt werden kann, wenn wir von einigen localen Temperaturdifferenzen in gleicher Bodentiefe absehen. Denn wenn auch bei — 65° C. alle genannten Körper erstarren, die Luft erstarrt doch nicht, ja sie wird, solange die Kälte nicht viel größer ist, nicht einmal tropfbar flüssig.

Da also die Luft bei — 65° noch gasförmig bleibt, so muss selbst bei einer so enormen Kälte dem natürlichen Bestreben nach Vereinigung (Cohäsionskraft), dem unter anderen Umständen alle gleichartigen und sehr nahe beisammenstehenden Massentheilchen folgen, eine Kraft entgegenwirken. Die Physik lehrt uns, dass diese Kraft die W ä r m e ist; es werden demnach die Gasmoleküle durch die Wärme auseinander gehalten; denn, entzieht man denselben fort und fort Wärme, natürlich durch Herstellung eines immer tieferen und tieferen Temperaturgrades, so treten sie endlich zu einem tropfbaren Körper zusammen, und wenn man diesen noch kälter werden lässt, was wieder nur durch eine weitere Entziehung der Wärme möglich ist, so wird er starr. Allein dies tritt für die Luft nicht bei — 65° ein, sondern erst bei einem viel tieferen Kältegrade. Würde demnach die Sonne einmal zu strahlen aufhören, so besäße die Erde an der Oberfläche noch immer so viel Wärme als erforderlich ist um Luft von — 65° Temperatur im gasförmigen Zustande zu erhalten, eine Wärmequantität, die im Vergleich zu der von der Sonne gespendeten als sehr enorm angesehen werden muss.

Um diese paradoxe Wahrheit zu begreifen, müssen wir auf die jüngsten hochwichtigen Untersuchungen über die sogenannten permanenten Gase reflectiren. Vor wenigen Jahren noch war die Möglichkeit einer Überführung der atmosphärischen Luft in den tropfbaren Zustand eine bloße Vermuthung, man wusste nur, dass, wenn dieser Versuch je gelingen sollte, ein viel größerer Druck, beziehungsweise eine viel stärkere Abkühlung als zur Condensation der Kohlensäure erforderlich sein würde. Vor drei Jahren wurde endlich die bedeutsame Frage dahin entschieden, dass alle Gase coërcibel, d. i. zu tropfbaren Flüssigkeiten condensirbar sind. L. Cailletet bewirkte im Jahre 1877 die Condensation des Sauerstoffs, Kohlenoxyds und Stickstoffs, indem er sie bis auf 300 Atmosphären comprimirt, durch tropfbare schweflige Säure auf —29° C. abkühlte, worauf das Gas plötzlich entlastet wurde. Dies hatte eine rasche Ausdehnung desselben zur Folge, wobei so viel Wärme gebunden wurde, dass sich das Gas in feine Tröpfchen verwandelte, die als Nebel in Erscheinung traten. Die hiebei frei gewordene Wärme betrug ungefähr 229°, denn das auf —29° abgekühlte Gas hatte durch die plötzliche Expansion circa 200° Wärme gebunden.

R. Pictet brachte in demselben Jahre die Condensation des Sauerstoffs in einer Röhre unter einem Drucke von 300 bis 500 Atmosphären zu Stande, indem er denselben mittelst erstarrter Kohlensäure auf — 130° abkühlte. Es gelang ihm auch den Wasserstoff tropfbar flüssig zu machen, und zwar dadurch, dass er ihn einem Drucke von 650 Atmosphären und einer gleichzeitigen Kälte von — 140° aussetzte.

Aus diesen Ergebnissen folgt, dass der auf — 29° abgekühlten Luft (einem Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff) noch circa 200 Grade Wärme entzogen werden müssen, damit sie tropfbar flüssig wird, dem Wasserstoff aber, der dem Drucke und der Kälte von allen Gasen am meisten widersteht, noch viel mehr. Die Condensationstemperatur muss für diesen jedenfalls beträchtlich tiefer liegen als — 229° C.

Würde der Wasserstoff das Mariotte'sche Gesetz bis zum Condensationspunkte befolgen, so würde dieser Punkt natürlich bei — 273° liegen, weil der Ausdehnungscoefficient für 1° C. Temperaturerhöhung $^1/_{273}$ beträgt, allein es ist bekannt, dass das Verhalten der Gase, wenn sie sich der Grenze dieses Aggregationszustandes nähern, jenem Gesetze nicht entspricht; der Ausdehnungscoefficient ist nur bei entsprechend hoher Temperatur gleich dem Bruche $^1/_{273}$, bei Annäherung an den tropfbaren Zustand wird derselbe größer, erst unmerklich, dann aber rasch. Man kann daher aus diesem Coefficienten nicht auf den absoluten Nullpunkt, d. i. jene Temperatur, bei welcher alle Gase erstarren, zurückschließen, ja nicht einmal auf den Condensationspunkt des betreffenden Gases. Gleichwohl ist ein absoluter Nullpunkt der Temperatur denkbar, denn wenn man einem Körper fort und fort Wärme entzieht, so muss der Wärmevorrath endlich erschöpft werden, d. h. in seinen Moleculartheilchen und den sie bildenden Atomen absoluter Stillstand eintreten; man kann aber nicht bestimmen, wie tief eine passende Thermometersubstanz bei gänzlicher Abwesenheit der Wärme im Thermometer stehen müsste. Sinkt die Temperatur unter — 229°, so wird zunächst die Luft tropfbar, der Wasserstoff kann aber lange noch gasförmig bleiben. Erst wenn man die Temperatur auf — 240 bis — 250° C. herabsetzt, wird er auch tropfbar, und nichtsdestoweniger ist Wärme noch vorhanden; denn sonst müsste auch der Wasserstoff gleich gefrieren. Bekanntlich erstarrt tropfbare schweflige Säure von — 10° Temperatur, wenn man ihr noch 66° Wärme entzieht, und tropfbares Stickstoffoxydul von — 90°, indem man es um weitere 25 Grade abkühlt. Es wird gewiss auch tropfbarer Wasserstoff noch viele Grade Wärme abgeben, bevor er in den festen Zustand übergeht.

Demnach können wir allerdings sagen, dass der Punkt, welcher einer gänzlichen Abwesenheit der Wärme entsprechen würde, wohl vielleicht tiefer, aber gewiss nicht merklich höher als — 273° C. liegen kann, doch ihn genauer zu fixiren ist derzeit nicht möglich. Die Physiker pflegen die von — 273° an gezählten Wärmegrade absolute Temperaturen zu nennen

und ihre Einführung in die auf theoretischem Wege abgeleiteten Formeln über die Wirkungen der Molecularkräfte bringt dieselben in eine überraschende Übereinstimmung mit den Ergebnissen, welche auf experimentellem Wege gewonnen wurden.

Nun wollen wir die höchste und die niedrigste Temperatur auf der Oberfläche der Erde auf diesen absoluten Nullpunkt beziehen. Die erstere beträgt alsdann ungefähr 273 + 70 = 343° C., die letztere 273 — 65 = 208° C. Würde also die Erde von der Sonne keine Wärme empfangen, so müsste sie an der Oberfläche dennoch mindestens 208° haben, demnach um vieles mehr, als wenn sie keine Eigenwärme hätte und alle Wärme nur von der Sonne erhielte, denn in diesem Falle hätte sie an der Oberfläche selbst in den Äquatorialgegenden nicht mehr als 135° absoluter Temperatur. Falls die Erde ihre Eigenwärme verlieren würde, könnte die Sonnenwärme[1]) zur Erzeugung und Erhaltung der Organismen nicht ausreichen, denn selbst unter dem Äquator vermöchten es die Sonnenstrahlen unter den günstigsten Umständen nur auf 135° absol. Temp. zu bringen, was so viel wäre als — 138° C. auf unseren gebräuchlichen Thermometern, auf denen freilich der absolute Nullpunkt, der 273° unter dem Eispunkt steht, nicht angebracht ist. Was erst in unseren geogr. Breiten!

Die auf einem Punkte der Erdoberfläche herrschende Temperatur combinirt sich also aus zwei Componenten, nämlich dem Effect der Sonnenstrahlung und der Eigenwärme des Erdbodens. Wollen wir daher auf die Temperatur, welche aus der Sonnenstrahlung allein entspringt, reflectiren, so müssen wir vor Allem die der directen Beobachtung entsprechende Brutto-Angabe, z. B. + 20° C., auf den absoluten Nullpunkt zurückführen, wodurch wir erhalten 273 + 20 = 293°; von dieser Zahl müssen wir dann 208° abziehen; so finden wir als den angenähert richtigen Effect der Sonnenstrahlung 85° C. für jenen Punkt der Oberfläche. Die Sonne und die Eigenwärme des Erdbodens betheiligen sich an diesem Punkte im Verhältnis 85 : 208, was soviel ist als 1 : 2 · 43; d. h. der Antheil der Eigenwärme des Bodens ist 2 · 43 mal so groß als der Antheil der Sonnenwärme. Für die Äquatorialgegenden ist aber das Verhältniss für den Fall der stärksten Wirkung der Sonne 135 : 208, woraus sich ergiebt, dass der Effekt der Eigenwärme des Bodens hier noch immer 1½ mal so groß ist, als die volle Wirkung der Sonne.

Unter den mannigfachen Hindernissen, welche einer richtigen Auffassung großer Naturerscheinungen und wichtiger Beziehungen der herrschenden Naturkräfte zur Sinnenwelt im Wege stehen, ist entschieden jenes das größte, welches in der Subjectivität des menschlichen Erkenntnissvermögens wurzelt. In Folge der Unfähigkeit, die Dinge anders als durch die fünf Sinne in den Bereich seiner Begriffsbildung aufzunehmen,

1) Hier ist die von der Sonne dem Erdboden mitgetheilte Wärme gemeint.

ist der Mensch naturgemäß gewissen Täuschungen ausgesetzt, die oft erst nach Generationen, wenn unumstößliche Thatsachen das Zeugniss der Sinne erschüttert haben, einer besseren Einsicht weichen. Man könnte daher mit Recht zweierlei Naturwahrheiten unterscheiden: solche, die mit den directen sinnlichen Wahrnehmungen harmoniren und solche, die uns paradox erscheinen, weil sie mit denselben in einem, wenigstens scheinbaren Widerspruche stehen.

Zu dieser letzteren Classe von Thatsachen zählt auch obiges Ergebniss in Betreff der eigentlichen Temperatur des Erdbodens. Auch der enorme Luftdruck, den jeder, auch der menschliche Körper zu ertragen hat, findet durch die Sinne und die Empfindung keine Bestätigung, denn wir spüren nicht, dass wir einem Drucke von vielen Centnern ausgesetzt sind, und doch verhält es sich so, aber wir werden solange diesen Luftdruck nicht fühlen, als er der Festigkeit, Elasticität und Spannung der unseren Körper zusammensetzenden Gewebe entspricht, diesen Kräften also das Gleichgewicht hält. Wenn wir jedoch einen Raum betreten, in dem die Luft auf $1/_{3}$ verdünnt wird, so giebt sich die Störung jenes Gleichgewichtes durch eine unbehagliche Empfindung zu erkennen, während wir den normalen Druck, obschon er dreimal größer ist, nicht merken. Wir nehmen also den Luftdruck überhaupt durch die Empfindung erst dann wahr, wenn er sich gegen seinen normalen Stand bedeutend ändert. Aber auch die directe Messung desselben wird nur dadurch ermöglicht, dass er sich als eine in allen denkbaren Abstufungen variable Größe darbietet und als solche behandelt werden kann.

Ähnlich verhält es sich mit der Wahrnehmung aller übrigen Einflüsse. Sie müssen als veränderliche Größen in wechselnder Intensität auf unseren Körper einwirken, um einen Eindruck hervorzubringen, und sich mindestens in periodischem Wechsel innerhalb gewisser Grenzen bewegen, wenn sie dem Beobachtenden nicht entgehen sollen. Der so beträchtliche Antheil von circa 208° C. in der Temperatur der Erdoberfläche geht an unserem Körper wirkungslos vorüber, weil er c o n s t a n t ist, d. i. weder nach Tages-, noch nach Jahreszeit veränderlich, höchstens nach Localverhältnissen innerhalb enger Grenzen etwas verschieden. Dieser Antheil ergänzt sich durch die hinzukommende Wirkung der Sonnenstrahlung zu jenem normalen Temperaturmaß, welches zur Hervorbringung und Erhaltung des organischen Lebens erforderlich ist. Was von der Temperatur, in der wir leben variabel, d. h. innerhalb einiger Stunden, Tage und Monate veränderlich ist, gehört nicht der Eigenwärme des Bodens an und für sich, sondern der Sonnenwärme an; letztere können wir ihrer Wirkung nach direct messen, denn sie ist zwischen 0 und 135° C. veränderlich und man kann sie auch durch Vorhalten eines passenden Schirmes vor die Sonnenscheibe in beliebigem Grade modificiren, was für die Eigenwärme des Bodens nicht ausführbar ist. Darum glauben wir, oder em-

pfangen wenigstens den Eindruck, wie wenn alle Wärme an der Oberfläche der Erde überhaupt von der Sonne allein käme. Wäre die Eigenwärme des Bodens nach Tages- und Jahreszeit veränderlich, die von der Sonne bewirkte Temperatur dagegen überall und zu allen Zeiten des Tages und des Jahres constant, so möchten wir gewiss glauben, dass alle Wärme nur von der Erde komme und würden der Sonne solange die wärmende Eigenschaft absprechen, bis dieselbe durch eine exacte wissenschaftliche Untersuchung sichergestellt wäre. Natürlich hätten erst die Gelehrten diese Überzeugung für sich, den übrigen Menschenkindern wäre das kaum begreiflich zu machen, denn diese werden das »warm« und »kalt« stets auf ihren eigenen Körper beziehen und das Wärmende auf der Seite erblicken, wo sie einen Temperaturwechsel bemerken.

Es ist kein Grund vorhanden um anzunehmen, dass die so beträchtliche Eigenwärme des Bodens diesem selbst von Natur aus zukomme; weil die Temperatur mit der Tiefe zunimmt und das Innere der Erde unzweifelhaft einen unberechenbaren Vorrath von Wärme enthält, so liegt die Vermuthung nahe, dass aus der Tiefe beständig, wenn auch langsam, Wärme durch die Gesteine heraufdringt. Wir kennen kein Factum, das dieser Vermuthung widersprechen würde, wohl aber mehrere schwerwiegende Thatsachen, welche sie auf das Kräftigste unterstützen. Vor allem ist es das Leitungsvermögen der Körper, welches unabweislich dafür spricht, denn wenn in einem Körper, gleichviel ob er klein oder groß ist (von den Dimensionen eines Planeten), die Temperatur ungleich vertheilt ist, so findet einem allgemeinen Naturgesetze zufolge eine Bewegung der Wärme von den wärmeren Stellen zu den minder warmen so lange statt, bis das thermische Gleichgewicht durch den Eintritt einer gleichmäßigen Temperatur in allen Theilen des Körpers hergestellt ist. Die Eigenwärme des Erdbodens, d. i. des obersten Theiles der Erdrinde, entspringt also aus einer Ansammlung der aus dem Erdinneren heraufdringenden Wärme. Ist aber das thermische Gleichgewicht damit hergestellt?

Ein Körper, der wie die Erde an der Oberfläche 208°, im Inneren aber noch viel mehr Grade Eigenwärme besitzt, muss natürlich, wenn er in einem luftleeren wärmefreien Raume schwebt, an diesen beständig Wärme abgeben, und dieser Wärmeverlust muss für die Erde, obschon ihr Strahlungsvermögen mit dem der Sonne kaum verglichen werden kann, doch nicht unbeträchtlich sein, denn schon die von der Sonne kommende Wärme dringt in $9^1/_2$ Stunden bei uns 1 Fuß tief[1]), die hochgradige Innenwärme der Erde verbreitet sich aber gewiss in einem rascheren Tempo gegen die Oberfläche, so dass schon in 100 oder 200 Jahren durch den Wärmeverlust die Temperatur der Erde um mehrere Grade abnehmen müsste.

---

1) Dass sich schwache Temperaturdifferenzen viel langsamer in der Erde fortpflanzen als starke nahe an der Oberfläche, ersieht man ganz deutlich aus den Bewegungen

Allein seit HIPPARCH's Zeit (150 J. v. Chr.) hat die Erdtemperatur, wie die Astronomie lehrt, nicht einmal um $^{1}/_{1000}$ Grad jährlich abgenommen, man würde es sonst an der geänderten Länge des Tages merken, weil schon 1° C. Temperaturabnahme eine zwar geringe aber dennoch nachweisbare Zusammenziehung der Erde zur Folge hätte: die Umdrehung derselben würde nämlich hierdurch schneller und der Tag dementsprechend kürzer, und sollte diese Kürzung auch nur einige Zehntel einer Secunde in 10 Jahren betragen, dem Astronomen könnte sich selbst eine so geringfügige Änderung der Tageslänge, da sich ihre Wirkungen mit der Zeit summiren, unmöglich entziehen.

In der Geologie finden wir aber noch viel wichtigere Zeugnisse für einen durch Jahrtausende bestehenden thermischen Gleichgewichtszustand der Erde: lesen wir doch aus der Geschichte der Eiszeit und der ihr vorausgegangenen letzten Periode des Tertiär, dass zu jener Zeit in Europa keine höhere Temperatur herrschte als gegenwärtig; denn wenn die fossile Flora des späteren Pliocen in hohen geogr. Breiten auch manche südliche Arten aufweist, die gegenwärtig dort nicht mehr leben, oder deren nächste Verwandten jetzt in wärmeren Gegenden vorkommen, so müssen wir nicht gerade eine höhere Mitteltemperatur heranziehen, um dies erklärlich zu finden, es genügt eine gleichmäßigere Vertheilung der Wärmezustände durch das ganze Jahr in Folge eines weniger continentalen Klima, denn sonst müssten wir die Eiszeit mit ihrer im Vergleich zur Gegenwart entschieden niedrigen Mitteltemperatur als eine plötzliche katastrophenartige Unterbrechung in dem Umgestaltungsprocesse der Erdoberfläche auffassen, wozu doch kein zwingender Grund vorliegt. Jene postpliocenen südlichen Arten konnten sich ja, auch wenn ihnen das damalige Klima nicht mehr ganz zusagte, noch durch Jahrtausende dürftig erhalten, als im langsamen Erlöschen begriffene Formen, die nur darum häufiger waren als jetzt, weil sie zeitlich den älteren Tertiärperioden näher standen als die gegenwärtigen spärlichen Reste einer ehemals weit nach Norden verbreiteten südlichen Vegetation. Gewiss ist jedenfalls soviel, dass mit Beginn der Glacialzeit die Erdoberfläche im Durchschnitt keine höhere Temperatur besaß als jetzt.

Gehen wir in der Zeit noch weiter zurück, etwa bis zum Beginn des Miocen; da finden wir, dass bei einer Temperatur, welche etwa 15 bis 17° C. höher war, als gegenwärtig, eine theils tropische, theils nahezu tropische Vegetation in Deutschland und Frankreich gedeihen konnte[1].

---

des Maximums und Minimums der Bodentemperatur im Laufe des Jahres. In Brüssel erreicht z. B. das Maximum die Tiefe von 8 Metern in 147 Tagen, d. i. am 12. October, während es an der Oberfläche am 22. Juni beobachtet wurde. Das Minimum braucht für die gleiche Tiefe 143 Tage.

1) SAPORTA, l. c. pag. 131.

Und die Pflanzen der Steinkohlenzeit, mussten sie eine größere Menge von Wärme haben als den heutigen Tropengewächsen zu Gebote steht, um kräftig gedeihen zu können? Es ist möglich, aber die gegentheilige Annahme hat entschieden mehr Wahrscheinlichkeit für sich, weil wir noch gegenwärtig unter allen Umständen die Vegetation, die Stamm und Blatt bildende wenigstens, in enge Temperaturgrenzen gebannt sehen, indem wir keine höhere Pflanze kennen, der eine Temperatur von mehr als +35° C. nützlich wäre; hat es ehemals solche gegeben, so haben sie oder ihre Descendenten sich allmählich niederen Temperaturen angepasst, es müsste aber auch alsdann möglich sein, Pflanzen, die ein normales Wärmebedürfniss haben, nach und nach an Temperaturen über 35° C. zu gewöhnen, wozu nach den bisherigen Erfahrungen der Pflanzencultur wenig Aussicht vorhanden ist. Hatte aber auch der Erdboden zur Steinkohlenzeit 25—30° C. mehr als jetzt, wie viel ist das, wenn wir die Hunderttausende von Jahren, die seitdem verflossen sind und die so hohe Temperatur des Erdinnern erwägen! Die Temperatur der Erde hat sich seit den frühesten Perioden des organischen Lebens nur sehr wenig geändert und man kann den thermischen Zustand ihrer Oberfläche seit dem Ende des Tertiär als im Ganzen und Großen unverändert, d. i. stationär, betrachten, obschon die Strahlung in den leeren, wärmefreien Himmelsraum zu keiner Zeit eine Unterbrechung erfahren hat und auch jetzt noch zweifellos fortdauert.

Woher kommt aber die Wärme, welche den gewiss sehr beträchtlichen, durch die beständige Strahlung in den wärmefreien Himmelsraum bedingten Verlust ersetzt? Kommt sie von der Sonne? Von dorther kann diese Wärme nicht kommen, denn die Sonne vermag zwar die Temperatur der Erdoberfläche von — 65° auf + 70° C. zu erhöhen, aber den gewaltigen Gegensatz zwischen dem heißen Inneren und der kühlen Oberfläche der Erde vermag sie nicht auszugleichen, sie vermochte es in den vergangenen Millionen von Jahren nicht und wird es auch in den kommenden Jahrtausenden nicht bewirken, weil sich ihr Einfluss nicht einmal bis auf eine Bodentiefe von 4000 Metern erstreckt: wie wenig ist das im Vergleich zum Halbmesser der Erde! Solange aber der starke Gegensatz zwischen der Temperatur des Erdinnern und der Oberfläche besteht, muss das Strömen der Wärme aus der Tiefe der Erde gegen die Oberfläche fortdauern, sowie auch die Strahlung derselben in den freien Himmelsraum.

Wenn wir nämlich eine kalte Steinkugel in die Nähe eines geheizten Ofens bringen, der durch mehrere Stunden gleichmäßig strahlt, so wird dieselbe sich nach und nach erwärmen und endlich eine constante Temperatur annehmen, z. B. von 30° C., denn von da an beträgt die an der Oberfläche der Kugel absorbirte Wärme so viel wie die von derselben ausgestrahlte, und solange die Distanz der Kugel vom Ofen unverändert bleibt, behält diese auch beständig dieselbe Temperatur, vorausgesetzt, dass sich die Wärmequelle nicht ändert. Hätte man aber die Kugel früher

auf 100° C. erwärmt und dann in dieselbe Nähe zum geheizten Ofen gebracht, so würde sich diese nichtsdestoweniger auf + 30° abgekühlt haben, weil ja die Kugel auch Wärme durch Strahlung abgiebt, und es wird so lange von den inneren Theilen Wärme zur Oberfläche strömen, bis nach fortgesetzter Strahlung jener Temperaturgrad erreicht ist, den der Ofen einem kleinen Körper in der angenommenen Distanz mitzutheilen vermag. Es ist nicht leicht denkbar, dass sich die Erde zum wärmenden Körper, der Sonne, im Wesentlichen anders verhalte.

Unter solchen Umständen ist nicht einzusehen, wie die von der Sonne der Erde zugesendete Wärme der ausgestrahlten das Gleichgewicht halten könne. Der ausgiebige Wärmeverlust der Erde muss ja trotz der Bestrahlung durch die Sonne regelmäßig fortdauern. Es muss also in der Erde selbst eine Wärmequelle existiren, die jenen Verlust vollkommen deckt.

In der That, es ist nicht schwer dieser Quelle auf die Spur zu kommen. Wissen wir doch, dass eine Kraft stets eine Wirkung hervorbringen muss. Sehr oft aber bleibt uns diese verborgen, weil sie eine unscheinbare Form angenommen hat. Jeder Sehende merkt es z. B., wenn sich ein Körper vor ihm bewegt, aber er merkt es nicht, dass, wenn man diese Bewegung hemmt, Wärme entsteht, denn diese ist nicht sichtbar und kann erst durch eine genauere Untersuchung nachgewiesen werden. Bisweilen tritt diese Wärme so langsam auf, dass sie sich verflüchtigt, bevor sie zu einer merklichen Summe angewachsen ist. Anders verhält sich die Sache, wenn man einen Körper rasch in seiner Bewegung hemmt, was z. B. beim Schlagen auf ein Stück Eisen auf dem Ambos mittelst des Hammers der Fall ist. Hier wird durch das Hämmern soviel Wärme frei, dass man sie durch Befühlen des Eisenstückes wahrnimmt.

Auch durch Hemmung der fallenden Körpertheilchen, welche der Schwere folgend dem Mittelpunkte der Erde zu eilen, entsteht Wärme. Wer kennt nicht die schöne Erscheinung der Sternschnuppen? Es sind Körperchen, die zeitweise in das Bereich der Anziehung der Erde kommen, in die Atmosphäre hineinstürzen und hier durch die starke Hitze, die in Folge der Hemmung ihrer Bewegung durch den Widerstand der Luft erzeugt wird, zur Verbrennung gelangen.

Alle Theilchen der Erde gravitiren gegen den Mittelpunkt derselben mit einer Kraft, welche der Resultirenden aller Anziehungskräfte der Massentheilchen gleichkommt. Aber diesem Zuge können sie nur einen unmessbaren Moment folgen, da sie schon beim Beginn der Bewegung durch die gegenseitige Undurchdringlichkeit gehemmt werden. Sobald also die Theilchen (Molecüle) an die Grenze ihrer Zusammendrückbarkeit gelangt sind, müssen sie in Folge ihrer Elasticität — die innerhalb der engsten Grenzen allen Körpertheilchen, mögen sie sonst wie immer beschaffen sein, eigen ist — auseinander schnellen, um sich dann wieder in Folge der Anziehung gegenseitig einander zu nähern. Da die Ursache dieser inner-

halb unmessbar enger Grenzen stattfindenden Bewegung der kleinsten Massentheilchen und ihrer Atome, nämlich die Anziehung und die rückwirkende Elasticität, nie aufhören, so muss auch jene Bewegung sich ohne Unterlass wiederholen, d. h. als constante Oscillation der Molecüle und deren Atome ein Äquivalent der Anziehungskräfte bilden. Je näher die Molecüle durch den verstärkten Druck an einander gerathen, desto wirksamer muss die gegenseitige Widerstandskraft (Abstoßungskraft) sein, desto intensiver daher die Schwingungen. Jene Oscillation der Molecüle und ihrer Atome ist aber Wärme.

Auch hier tritt also als Äquivalent einer constanten Kraft wieder eine constante Kraft auf. Die Wärme ist demnach der Materie ebenso inhärent wie die Anziehung und jene muss hier als Folge dieser letzteren betrachtet werden. Würde die Anziehung aufhören, so müsste auch die Emanation der Wärme ein Ende nehmen, weil die Molecüle nicht in oscillirende Bewegung gerathen könnten. Ein Aufhören dieser letzteren müsste auch dann eintreten, wenn den Molecülen die Möglichkeit geboten würde, dem Zuge der Schwere thatsächlich zu folgen, d. i. eine progressive Bewegung anzutreten. Gesetzt den Fall, es entstehe im Innern der Erde 20 oder 30 Meilen tief ein Hohlraum von etlichen Kubikkilometern. Offenbar müssten dann die Massentheilchen, welche dem Hohlraum am nächsten wären, zunächst von der übrigen Masse sich trennen und gegen den Mittelpunkt fallen, schnell würden ihnen andere folgen und in einem gewaltigen Zusammenbruch müsste die gelockerte oder aufgelöste Masse gegen das Centrum der Erde stürzen. Die Lockerung der Masse und gleichzeitige Aufhebung des Druckes hätte aber gewiss eine Bindung der Wärme zur Folge, d. i. mit einem gangbaren Worte: Kälte, indem die Molecular- und Atombewegung in progressive Bewegung übergehen würde. Tiefer unten müsste aber die sich sammelnde und verdichtende Materie wieder so viel Wärme erzeugen, als früher durch Verdünnung der Masse in Abgang gerathen war.

Es ist folglich nicht zu befürchten, dass der Erde einmal die Eigenwärme ausgehe; sollte das der Fall sein, so hört gleichzeitig auch die Gravitation auf, eine wesentliche und allgemeine Eigenschaft der Materie zu sein. Die Erde hat längst schon die Grenze ihrer möglichen Abkühlung erreicht, ob sie anfangs nur um weniges (etwa 30—100° C.) wärmer war als jetzt, oder ob sie — was von den meisten Naturforschern angenommen wird, ohne dass es bisher möglich wäre dafür zwingende Beweise beizubringen — ursprünglich auch an der Oberfläche in einem glühendflüssigen Zustande sich befand. Eine weitere Verdichtung der Erde durch Abkühlung ist nicht mehr möglich, denn sonst müsste die Temperatur ihrer Oberfläche in den mehr als 10000 Jahren, die sicher seit dem Ende des Tertiär verflossen sind, um ein Merkliches abgenommen haben. Bewirken aber auch die Anziehungskräfte seit 10000 oder 1000 oder nur 100 Jahren

keine Verdichtung mehr, so können sie doch nicht wirkungslos bleiben, weil es nach einem ewig geltenden Gesetze der Causalität nicht denkbar ist, dass eine Kraft, auch nur in einem einzelnen Falle, absolut nichts hervorbringe, das wäre ja gleichbedeutend mit einer Tilgung oder Vernichtung (völligen Auslöschung) der Kraft.

Sagen wir also: die Erde erzeugt beständig Wärme in ihrem Innern und die so entstandene Wärme entspricht der Summe und Intensität der Anziehungskräfte aller ihrer Massentheilchen. Durch dieses Wärmequantum wird der durch die Strahlung an der Oberfläche bewirkte Wärmeverlust gedeckt; sollte aber der Erdkörper einen Rest jener hochgradigen Wärme noch besitzen, die er der Ansicht der meisten Naturforscher zufolge ursprünglich hatte, so muss dieses Residuum jedenfalls sehr gering sein, weil die Temperatur der Erde seit Jahrtausenden constant geblieben ist, constant natürlich in ihrem Großen und Ganzen (im Innern), denn die Temperatur der Oberfläche musste sich local in Folge der Entwaldung vieler Gegenden, durch Verödung und Versumpfung gewisser Landstriche etc. merklich ändern.

Neben der Wärmeerzeugung ist noch eine zweite höchst wesentliche Wirkung der Gravitation nachweisbar, wenn die Schwere nicht in progressive Bewegung übergehen kann. Da nämlich die gegenseitige Undurchdringlichkeit der kleinsten Theilchen der Erde ein Fallen gegen den Mittelpunkt verhindert, so entsteht ein vertical gerichteter Druck, der natürlich mit zunehmender Tiefe immer größer wird. Betrachten wir nun ein Theilchen der Erde in mäßiger Tiefe: es hat zunächst den von oben wirkenden Druck zu ertragen und wird demselben dadurch auszuweichen suchen, dass es ihn auf die benachbarten Theilchen überträgt. Ist die Masse der Erde in dieser Tiefe noch fest, so wird die Wirkung des verticalen Druckes um den Betrag der Cohäsionskraft der Massentheilchen gemindert, wesshalb der nach allen Richtungen des Raumes radial ausstrahlende Druck geringer ausfällt, als wenn die Masse tropfbar flüssig wäre; denn in diesem Falle pflanzt sich der auf einer Seite ausgeübte Druck mit gleichmäßiger Kraft und ungeschwächt nach allen Richtungen fort. Man wird aber fragen: ist es möglich, dass sich irgend ein Druck, den ein fester Körper auf einer Seite empfängt, mit einer gewissen Intensität im Innern nach verschiedenen Richtungen verbreitet? Müsste nicht, wenn er eine noch so geringe Verschiebung der kleinsten Theilchen bewirkt, die Cohäsion aufhören, die Theilchen also jeden festen Zusammenhalt verlieren? Allerdings, wenn die Masse im höchsten Grade starr (spröde) wäre, wie etwa das rasch abgekühlte Glas. Allein es giebt keine absolut starren Körper und die meisten die wir als feste oder starre bezeichnen, besitzen immer noch einen ziemlich hohen Grad von Verschiebbarkeit ihrer Moleculartheilchen.

Werden in einen starken eisernen Cylinder Bleischrotten geschüttet

und mittelst eines genau passenden Stempels aus Eisen oder Stahl von oben her stark gepresst, so platten sie sich gegenseitig ab und füllen als polyedrische Körper den ganzen Raum des Cylinders unter dem Stempel aus; wäre der Cylinder unten auch beträchtlich nach ein oder der anderen Seite hin ausgeweitet, so würden nichtsdestoweniger die Bleikügelchen auch in diesen seitlichen Räumen in gleicher Weise comprimirt, obschon der Stempeldruck gar nicht seitlich gerichtet ist. Zu demselben Resultat möchte der Versuch führen, wenn man ein einziges wie imer geformtes Stück Blei in den Cylinder einpressen würde: auch in diesem Falle würde das Blei allmählich alle Räume unter dem Stempel gleichmäßig ausfüllen, gleich viel ob sie in der Richtung des ausgeübten Druckes stehen oder nicht. Wir sehen also, dass der Druck, wenn er entsprechend hoch ist, sich nach allen Richtungen des Raumes fortpflanzen kann, auch wenn der ihm ausgesetzte Körper ein fester ist. Es unterliegt keinem Zweifel, dass dieser Versuch auch mit viel festeren Metallen gelingen würde, nur müsste ein entsprechend höherer Druck angewendet werden.

Nun dürfte Jemand allerdings noch den Einspruch erheben: das Alles gelte von den Gesteinen der Erdrinde nicht, weil diese nicht nur feste, sondern auch entschieden spröde Körper sind. Ertragen doch nach Gümbel Solenhofner Platten von einigen Centimetern Dicke einen Druck von mehr als 20000 Atmosphären, was dem Gewichte einer darüber befindlichen Gesteinssäule von mindestens 9 geogr. Meilen entsprechen würde. Aber diese und ähnliche Versuche, die mit verschiedenartigen Gesteinsproben angestellt wurden, finden auf unsern Fall, nämlich auf die Frage nach dem Molecularzustand der Gesteine der Erdrinde in größerer Tiefe keine Anwendung, weil bei denselben zwei sehr wichtige Factoren unberücksichtigt bleiben, nämlich die hohe Temperatur und die das Gestein imprägnirenden (darin förmlich aufgelösten) verschiedenartigen Gase: Wasserdampf, Kohlensäure u. a. Wollte daher Jemand aus dem Gümbel'schen Versuche folgern, dass die Gesteine in der Tiefe von 6 geogr. Meilen noch in starrem Zustande sich befinden, so wäre das so viel, als wollte er die Wirkungen dieser zwei mächtigen Bundesgenossen des Druckes wegleugnen. In dieser Tiefe müssen, auch wenn wir annehmen, dass die Temperatur mit je 66 Meter um 1° C. zunimmt, die Gesteine mindestens in Rothgluth sich befinden. Der starre Zustand ist mit einem so gewaltigen Drucke, einer so hohen Temperatur und der Interposition von Wasser und Gasen nicht vereinbar, denn wir wissen, dass die erhöhte Temperatur die Sprödigkeit harter Körper wie Stahl, Glas etc. vermindert, auch wenn sie beiweitem noch keinen Fluss bewirkt, dass durch die Dazwischenlagerung der Wasser- und Gastheilchen die Cohäsion gleichfalls geschwächt und daher die lösende Wirkung des Druckes wesentlich gefördert wird. Jedenfalls müssen wir die Vorstellung aufgeben, als ob ein Theilchen der Erdrinde nur starr oder tropfbar flüssig sein könnte: die

vereinten Wirkungen der Wärme, des Druckes und der Interposition von Wasser und Dämpfen, die alle je nach dem Grade ihrer Intensität die Cohäsion zu vermindern suchen, bedingen vielmehr einen allmählich von der Oberfläche nach der Tiefe zunehmenden Zustand der Plasticität der Gesteine, so dass während die obersten starr erscheinen, die untersten in tropfbar flüssigem Zustande sich befinden, ohne dass eine Grenzlinie denkbar wäre, welche beide extreme Aggregatzustände von einander trennen würde.

Wir denken uns nach allem dem das Innere der Erde als eine gleichmäßige in ihren kleinsten Theilchen bewegliche (verschiebbare) Mischung von Gesteinsmassen, Wasser und Dämpfen, unten leicht beweglich und flüssig, höher oben etwas mehr träge und allmählich gegen die Oberfläche fest und starr werdend. Wenn aber die Gesteine der Erdrinde schon in geringer Tiefe nicht mehr starr, die unteren Gesteinsmassen aber, von 3—4 Meilen abwärts, flüssig sind, so ist zur Erklärung der Abplattung der Erde an den beiden Polen die Annahme eines ursprünglich glühend flüssigen Zustandes der Erde (bis an die Oberfläche) nicht nothwendig: die Abplattung musste eintreten auch wenn die Erde nie anders beschaffen war als jetzt.

Eine solche Mischung (Magma) von Gesteinsmassen, Wasser und Dämpfen, wie sie das Innere der Erde bildet, kann aber, da sie keine Unterbrechungen enthält und ihre kleinsten Theilchen jenen Grad von Elasticität besitzen wie jene tropfbarer Flüssigkeiten und homogen dichter Körper überhaupt, die Erschütterungswellen nicht anders, als gut und gleichmäßig leiten. Entsteht daher in der Tiefe von mehreren Meilen durch eine Explosion überhitzter Dämpfe oder aus einer anderen denkbaren Ursache eine Erschütterung in der magmatischen Masse, so pflanzen sich die Stoßwellen nach demselben Gesetze bis zur Oberfläche fort wie im Wasser, wenn z. B. ein Sprenggeschoss am Grunde des Meeres explodirt: die Wirkung zeigt sich erst nach einiger Zeit an der Oberfläche, denn die Erschütterung schreitet von Wassertheilchen zu Wassertheilchen fort, diese gerathen nur in Schwingungen zwischen sehr engen Grenzen, und ein Taucher möchte das Wasser tief unter der Oberfläche gar nicht in Aufregung finden; erreicht aber die Erschütterungswelle einmal die Oberfläche, wo die Wassertheilchen die empfangenen Impulse nicht mehr an andere Theilchen abgeben können, so schwingen sie mächtig aus und bringen jene tumultuarische Bewegung hervor, die wir in einem solchen Falle beobachten[1]. In gleicher Weise wird man in einem tiefen Schachte

1) Stellt man eine Anzahl an Fäden hängende gleich große Elfenbeinkugeln in eine geradlinige Reihe, dass sie sich berühren, und versetzt der ersten Kugel einen Stoß in der Richtung der Reihe, so geht die Erschütterung scheinbar wirkungslos von Kugel zu Kugel durch die ganze Reihe, nur die letzte Kugel springt ab, wie wenn der Stoß unmittelbar auf sie eingewirkt hätte. — Wird eine Metallplatte mittelst eines Schrauben-

eine aus großer Tiefe heraufkommende heftige Erschütterung der Erde nur schwach, an der Oberfläche aber als starkes Beben (Erdbeben) verspüren. Daraus, dass schon in tieferen Erz- und Steinkohlengruben ein stärkeres Erdbeben nur schwach wahrgenommen wird, kann man nicht schließen, der Herd desselben müsse sehr nahe an der Oberfläche liegen.

Je weniger ein Theil der festen Erdrinde im Innern oder an der Oberfläche befähigt ist die Schwingungen mitzumachen, desto mehr zeigen sich die Wirkungen derselben als eine Aufeinanderfolge von mehr oder weniger gewaltsamen Stößen: überall dort wo die Dichte und Cohäsion in der Erdmasse gleichmäßig vertheilt sind, bringt daher das starke Erdbeben zerstörende Wirkungen hervor, vor allem auf erdigem und sandigem Grunde und auf losem Gestein, weil daselbst die Bodentheilchen, da sie nicht mitschwingen können, nur stoßweise zu einer Art hüpfender oder drehender Bewegung gezwungen werden. Jedes Erdbeben trägt mehr oder weniger zur Lockerung der obersten Erdschichten bei, indem dort wo im zusammenhängenden Gestein eine Ungleichmäßigkeit in der Dichte, Festigkeit und Elasticität der Gesteinsmassen vorkommt, Sprünge und mannigfache Risse, ja selbst weitklaffende Spalten entstehen, dort aber wo die Cohäsion der Theilchen nur gering ist, die Massen vielfach zerissen und mechanisch zersetzt werden. An unzähligen Stellen trägt die Erde Spuren solch gewaltsamer Zertrümmerung; aber je tiefer man geht, desto geringer werden die zerstörenden Wirkungen der Erdbeben, weil nach abwärts die Continuität der Gesteinsmassen, die Gleichmäßigkeit ihrer Dichte und Elasticität, des wachsenden Druckes wegen zunimmt.

Auch für die Wärme gelten im Allgemeinen dieselben Gesetze der Leitungsfähigkeit, denn diese beruhet gleichfalls auf einer Art von innerer Molecularbewegung, die sich um so leichter von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt, je dichter bei gleicher materieller Beschaffenheit die Masse ist. Von zwei Körpern leitet überhaupt derjenige die Wärme besser, welcher eine dichtere und homogenere Masse besitzt. Ungleichmäßigkeit in der Dichte, Ungleichartigkeit in der Zusammensetzung, Unterbrechung der Masse in Form von Poren, Rissen, Spalten und Klüften sind gleichfalls der Wärmeleitung abträglich. Solche Discontinuitäten sind aus den oben angeführten Gründen an der Oberfläche der Erde am größten, sie nehmen mit der Tiefe allmählich ab, ohne dass es möglich wäre, diese Abnahme

---

stockes fest gemacht, mit Sand bestreut und dann am Rande mit einem Violinbogen gestrichen, so wird sie in schwingende Bewegungen versetzt, die wenn die hervorgebrachten Töne hoch sind, gar nicht direct wahrgenommen werden können, und doch sieht man den Sand sehr hoch springen: offenbar weil die an der Oberfläche befindlichen Theilchen der Platte, da sie die erhaltenen Impulse nicht mehr anderen mittheilen können, weit und heftig ausschwingen. Die Erschütterung pflanzt sich aber im Innern der Platte so gleichmäßig und innerhalb so kleiner Schwingungsweiten fort, dass der Molekularzustand derselben auch während des Schwingens kaum alterirt wird.

durch ein in bestimmterer Weise fassbares Gesetz auszudrücken. Schon in einer Tiefe von 2 Meilen müssten sich in Folge des starken Druckes und der (wenn auch geringeren) Verschiebbarkeit der Massentheilchen alle sichtbaren Poren, Lücken und sonstigen Hohlräume des Gesteins vollkommen schließen, und die Leitungsfähigkeit desselben kann daselbst nur mehr von seiner materiellen (chemisch-mineralischen) Beschaffenheit abhängig sein. Noch einige Meilen tiefer wird die Diffusion in dem für Wasser, Dämpfe und sonstige Gase durchdringlichen Magma auch diesen mäßigen Unterschied ausgleichen. Wir dürfen also, wo es sich um das Leitungsvermögen der Gebirgs- und Bodengesteine handelt, von den Schichten, welche tiefer liegen als 3—4 Meilen, ganz absehen und können sicher sein, dass die Gegensätze in dieser Eigenschaft an der Oberfläche am größten sind, wesshalb die obersten Schichten (bis zu einer Tiefe von 1000—2000 Metern) den Ausschlag geben. Diesem Umstand ist es auch zuzuschreiben, wenn die Differenz der bei artesischen Brunnen und in Erzgruben beobachteten Bodenwärme in gleicher Tiefe bei gleicher mittlerer Lufttemperatur im Ganzen nur einige wenige Grade beträgt. Wäre an einer Stelle der Boden aus einem Gestein von der Leitungsfähigkeit des Mormors und erstreckte sich dieses Gestein in vollkommener Gleichmäßigkeit bis auf eine Tiefe von mehreren Meilen, so müsste die Temperatur desselben in einer gewissen erreichbaren Tiefe um 30 bis 50° C. höher sein, als wenn der Boden aus einem porösen Tuff bestehen würde, angenommen, dass der letztere auch mehrere Meilen unter der Oberfläche dasselbe inferiore Leitungsvermögen behielte wie an der Oberfläche. Allein schon 1 Meile tief wird letzteres in Wirklichkeit von dem des Marmors nur sehr wenig verschieden sein, weil der gewaltige Druck das poröse Gestein verdichtet, und die Temperaturdifferenz reducirt sich auf etwa 3 bis 5 Grade. Indessen kann auch diese unbedeutende Differenz sich an der Oberfläche durch ein schnelleres Abschmelzen des Schnees und durch eine frühere Entwicklung der Vegetation bemerkbar machen, indem schon ein constantes plus von 2 oder 3° C. im Boden eine erhebliche Wirkung auf die periodischen Lebenserscheinungen der Pflanzen ausübt. Aber auch manche südliche Pflanzenart, die auf einem minder warmen Boden an der nördlichen Grenze ihrer Verbreitung längst verschwunden ist, wird sich dort, wo in Folge einer besseren Leitung der Gesteine ihr ein constantes plus von 2—3° zu Gebote steht, auf die Dauer erhalten.

Sobald die von Theilchen zu Theilchen fortschreitende innere Molecularbewegung, die wir (in wissenschaftlichem Sinne) Wärme nennen, die Oberfläche des Körpers erreicht, geht sie unmittelbar auf die Äthertheilchen über und versetzt sie in schwingende Bewegung, was wir mit einem üblichen Ausdruck als Strahlung der Wärme bezeichnen. Aber die »strahlende« Wärme ist eigentlich keine Wärme, denn sie ist nur eine Wellenbewegung des Äthers, somit vom Lichte nicht verschieden, es

sei denn in der Schwingungsdauer und Wellenlänge, insofern wir nur Ätherwellen von einer bestimmten Länge als Licht empfinden, während Ätherschwingungen von größerer Dauer nur Wärme erzeugen, und zwar dadurch, dass sie in den Körpern innere Molecularbewegungen hervorbringen.

Je mehr Massentheilchen die Ätherwellen an der Oberfläche eines Körpers treffen, desto größer ist natürlich ihr Effect, d. i. die Erregung der Wärme. Wir finden daher, dass Körper mit rauher, poröser, mannigfach verunebneter Oberfläche mehr eingestrahlter Wärme absorbiren als Körper mit glatter Oberfläche; schon die einfache Beobachtung im Freien auf gleichbesonntem glattem Fels- und sandigem oder erdigem Boden vermag uns, wenn es sich um die Absorption der strahlenden Wärme handelt, von der hohen Bedeutung der mechanischen Beschaffenheit der Bodenoberfläche zu überzeugen, und das was auf experimentellem Wege durch Vergleichung unzähliger Daten gewonnen wurde, ist nur eine Bestätigung, oder vielmehr eine wissenschaftliche Fassung dieser hochwichtigen Wahrheit.

In gleicher Weise, wie der Effect der einstrahlenden Wärme mit der Oberfläche oder Zahl der Angriffspunkte zunimmt, muss auch, vice versa, der Verlust an wirklicher Wärme durch Ausstrahlung mit der Oberfläche größer oder kleiner ausfallen, wesshalb mechanisch zersetztes Gestein sich durch Strahlung schneller und stärker abkühlen wird, als compacter Fels, und wird somit ersteres, an der Oberfläche wenigstens, um so größere Temperaturextreme im Laufe eines Tages oder Jahres veranlassen, je vollständiger es zerspalten und zerbröckelt ist, letzterer aber wird dagegen um so constantere Wärmezustände aufweisen, je regelmäßiger und glatter seine Oberfläche, je homogener und dichter seine Masse ist. Hat an einer Stelle das Bodengestein ein höheres Strahlungsvermögen im Vergleich zur Leitung der Wärme, als an einer anderen, so wird der Gegensatz der Temperaturen zwischen Oberfläche und einer gewissen Tiefe im ersten Falle größer sein, als im zweiten, wenn an beiden Stellen der Boden von der Sonne gleich stark bestrahlt wird; an ersterer Stelle wird zwar der Boden durch die einfallenden Sonnenstrahlen stärker erwärmt; aber er strahlt in gleicher Zeit auch mehr Wärme aus, als an zweiter Stelle, weil der schlechter leitende Boden ein höheres Strahlungsvermögen besitzt; ersterer Boden bedingt daher nur größere periodische Temperaturschwankungen. Zieht man nun das arithmetische Mittel der Lufttemperaturen für die eine und die andere Localität von der constanten Temperatur, welche z. B. in der Tiefe von 300 Meter herrscht, ab, so findet man die Differenz an der Stelle mit schlechter leitendem Bodengestein größer, als an der anderen: es nimmt daher dort die Temperatur mit der Tiefe rascher zu als hier. So beobachtet man z. B. in Steinkohlenbergwerken auf je 33 Meter Tiefe eine nahezu doppelt so große Wärmezunahme, als in Erzgruben, welche in

compactes Felsgestein einschlagen; im Schiefergestein nimmt die Temperatur mit der Tiefe ebenfalls rascher zu, als im Granit etc. Solche locale Anomalien machen eine sichere Bestimmung der Wärmezunahme von der Oberfläche nach abwärts fast unmöglich, denn jede Localität giebt andere Zahlen und ebensowenig zeigt sich in der Zahlenreihe für ein und dieselbe Localität eine Gleichmäßigkeit. Als schnellste Zunahme der Bodenwärme kann nach Beobachtungen aus verschiedenen Gegenden 1° C. auf je 10 Meter angenommen werden, als geringste 1° C. auf je 62 Meter, und die Zahl 33 Meter ist der Durchschnitt aus sehr zahlreichen Daten, daher nur auf einige Localitäten direct anwendbar.

Der bedeutende Unterschied in der Wirkung guter Wärmeleitung und geringer Wärmestrahlung einerseits und schlechter Wärmeleitung in Verbindung mit beträchtlicher Wärmestrahlung andererseits kann durch folgenden einfachen Versuch anschaulich gemacht werden. Man nimmt ein Gefäß aus Eisenblech, etwa 20 cm. lang und breit und 10 cm. hoch, und stellt ein kegelförmig zugehauenes Stück von compactem Kalkfels, etwa 15 cm. hoch und unten von 8 cm. Durchmesser in die Mitte; sodann füllt man den Raum ringsumher mit feinem Kalksand bis an den Rand des Gefäßes. Nun werden an der Oberfläche des 5 cm. über den Sand emporragenden Felsstückes, so wie auch auf dem Sand ringsumher Wachsstückchen befestigt. Wird alsdann das Ganze von unten mit siedendem Wasser gleichmäßig erwärmt (indem man das Gefäß in ein zweites etwas geräumigeres von Thon, worin Wasser längere Zeit siedet, stellt), so wird man finden, dass am hervorragenden Felsstücke das Wachs zuerst schmilzt, auf dem Sand aber um so später, je weiter die Wachsstückchen von dem Fels entfernt sind. Wird nun die Wärmequelle, durch welche das Wasser zum Sieden gebracht wurde, entfernt, so nimmt noch eine zeitlang die Temperatur des Felsstückes zu und steigt noch, während sie an der Oberfläche des Sandes schon im Rückgange begriffen ist, was offenbar nicht nur in der geringeren Wärmeleitungsfähigkeit des Sandes, sondern auch in dem größeren Strahlungsvermögen desselben seinen Grund hat, denn das letztere nimmt überhaupt zu, wenn die Oberfläche der Mineralsubstanz größer wird. In diesem Falle setzt sich die Wärme strahlende Oberfläche am Sande aus den Oberflächen aller oben stehenden Körnchen zusammen und wird so nahezu dreimal so groß, als die ebene Fläche, welche dem Querschnitt des Gefäßes entspricht. Am Felsstück wird aber die strahlende Oberfläche nicht viel größer sein, als die Mantelfläche des entsprechenden Kegels, wenn das Stück nur einigermaßen regelmäßig zugehauen ist.

Erst durch die gegenseitigen Beziehungen zwischen Wärmeleitung und Wärmestrahlung vermögen wir uns von dem gewaltigen Einfluss, welchen die Eigenwärme der Erde auf die Temperaturverhältnisse ihrer Oberfläche ausübt, eine klare Vorstellung zu machen. Dass der Boden an

der Oberfläche eines Gebirges mit zunehmender Höhe kälter wird, was sich in den nach oben abnehmenden Jahresmitteln der Boden- und Lufttemperatur zu erkennen giebt, kann demnach durch die oben abgeleiteten Gesetze leicht und auf die natürlichste Weise seine Erklärung finden. Die Wärme, die überhaupt ein Gebirge in seinem Inneren in jenen Tiefen besitzt, bis zu denen sich der Einfluss der Sonne kaum erstreckt, besteht aus zwei Componenten, nämlich aus der Wärme, welche die Schwer-, beziehungsweise Druckkräfte an Ort und Stelle erzeugen, und aus jener Wärme, welche durch die Basis oder den grundständigen Querschnitt des Gebirges aus der Tiefe der Erde heraufdringt. Beide Componenten nehmen aber nach oben an Größe ab, die erstere, weil der durch die Schwerkräfte hervorgebrachte Druck nach oben kleiner und kleiner wird, die letztere, weil in Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Gesteine die eindringende Wärme auf ihrem Wege durch die Masse des Gebirges bis zum Gipfel eine zunehmende Schwächung erfährt.

Wie aber eine größere Massenentwicklung des Gebirges eine verticale Verschiebung der Höhenisothermen bewirkt, werden wir nur dann einsehen, wenn wir die Basis des Gebirges vergleichen mit der Wärme strahlenden Oberfläche desselben. An der Oberfläche eines hohen Berges muss es (von der Wirkung der Sonne abgesehen) um so wärmer sein, je größer die aus der Erde Wärme zuführende Basisfläche im Vergleich zur Wärme abgebenden Oberfläche ist, oder je kleiner die Oberfläche im Vergleich zum grundständigen Querschnitt des Gebirges.

Man kann bis zu einem gewissen Grade diesem Gesetze eine mathematische Form geben, indem man mit b die Basisfläche bezeichnet, mit h die relative Höhe des Gebirges (das zunächst als ein Kegel betrachtet wird, wenn es isolirt ist, als eine Reihe in einander geschobener Kegel, wenn es als Gebirgskette erscheint und als eine Gruppe von allseitig verwachsenen Kegeln, wenn es einen mehrspitzigen Gebirgsstock darstellt) und mit π die Zahl 3·14159. Das Verhältniss der Basisfläche zur Mantelfläche, resp. Oberfläche des Gebirges ist dann in allgemeinster Form durch $b : \sqrt{bh^2\pi + b^2}$ ausgedrückt.

Es habe nun ein Gebirge 100 □Kilometer Basis und 2 Kilometer relat. Höhe; für diesen Fall kommen auf 1 □Meter Wärme zuführender Basisfläche 1·061 □Meter Wärme strahlender Oberfläche, das Verhältniss wäre also 1 : 1·061; für 3 Kilometer Höhe wäre es 1 : 1·132; für 4 Kilometer Höhe 1 : 1·226; für 5 Kilometer Höhe 1 : 1·336 u. s. f. Man sieht, dass das Verhältniss um so ungünstiger wird, je mehr die Höhe des Berges, für gleiche Basis, zunimmt, weil die Wärme abgebende Oberfläche immer größer wird im Vergleich zur Basis, durch welche dem Gebirge Wärme aus dem Innern der Erde zuströmt. Wird aber die Basis = 50 □Kilometer und die Höhe = 4 Kilometer gesetzt, so erhält man 1 : 1·416, ein Ergebniss, das noch

ungünstiger ist, als wenn bei ersterer Basis (100 □Kilometer) das Gebirge 5 Kilometer hoch wäre. Aber ein Gebirge, das 100 □Kilometer Basis und 5 Kilometer Höhe hat, besitzt viel mehr Masse als ein zweites von 50 □Kilometer Grundfläche und 4 Kilometer Höhe, denn jenes ist dem Volum nach 2½mal so groß als dieses.

Noch evidenter wird der günstige Einfluss der Massenentwicklung, wenn wir dem letzteren Berge von 50 □Kilometer Basis und 4 Kilometer relat. Höhe einen dritten von gleicher Höhe und 2000 □Kilometer Basis beispielsweise gegenüber stellen. Im letzten Falle wird sich auf der plateauartigen Gebirgsmasse selbst diese beträchtliche Höhe der Vegetation viel weniger fühlbar machen, natürlich vorausgesetzt, dass das Gebirge im Innern aus ebenso gut leitendem Fels besteht, wie im anderen Falle bei gleicher Beschaffenheit der Oberfläche.

Isolirte Berggipfel der südlichen Ausläufer der Alpen sind schon bei 1200 Meter abs. Höhe von einem Gürtel von Fichtenwaldung umgeben, bei 1500 Meter erscheinen Krummholz und Rhododendron als Vorläufer echter Alpenvegetation, während auf den Abhängen der Centralalpen in gleicher Höhe noch alle Getreidearten des nördlichen Europa vortrefflich gedeihen und schöne grasreiche Voralpenwiesen eine ausgiebige Landwirthschaft ermöglichen [1]. — In Mexico, zwischen 18 und 19° n. Br. hört 4420 Meter über dem Meere die Vegetation auf, die Schneegrenze ist bei 4710 Meter; aber in Südamerika steht unter dem gleichen Breitengrade 4166 Meter über dem Meere die Stadt Potosi, die Schneegrenze ist hier bei 5964 Meter. Diesen so auffallend großen Unterschied in den Temperaturverhältnissen der beiden Gegenden macht die Hochebene am Titicaca-See; diese breitet sich nämlich bei 4000 Meter durchschnittlicher abs. Höhe über einen Flächenraum von nahe 350 □Meilen aus (zwischen dem 16. und 20. Breitengrade), während sich die mexicanische Hochebene nur 2000 bis 2600 Meter hoch über das Meer erhebt.

So sehr sich auf jenen tropischen Hochebenen des Tages die Hitze fühlbar macht, so empfindlich wird die Depression der Temperatur in der Nacht wegen der raschen Abkühlung. Um nur einen Fall anzuführen, wollen wir auf die schöne, wenn auch nur gegen 7 □Meilen umfassende Hochfläche von Caxamarca (in Peru, 7° s. Br.) hinweisen; sie liegt nach A. v. Humboldt 2857 Meter über dem stillen Ocean, ringsum von schneefreien Gebirgen umgeben, ganz eben und sehr fruchtbar (der Weizen liefert die 18fache, die Gerste 60fache Frucht); ihre mittlere Jahrestemperatur beträgt 16° C.; gleichwohl gefriert bisweilen die Getreidesaat in der Nacht und während das Thermometer im Sommer zu Mittag 25° C. im

1) Man vgl. auch: Simony, Beitrag zur Kunde der obersten Getreide- und Baumgrenze in Westtirol. Verhandl. der k. k. zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien, 1870.

Schatten zeigt, geht die Temperatur gegen Sonnenuntergang auf + 8° C. zurück. Alle Orte mitten auf der Fläche haben eine höhere mittlere Temperatur als die an den Abhängen. Auch Boussingault bemerkte, dass die Orte mitten auf den Hochflächen der Cordilleren allgemein ein höheres Jahresmittel besitzen, als die am Rande befindlichen.

Wir haben oben von den zahlreichen Unregelmäßigkeiten, die ein Gebirge an seiner Oberfläche darbietet, wie Nebengipfel, Felszacken, Vorsprünge, Klüfte und Schluchten, so wie auch von sonstigen Unterbrechungen der Masse abgesehen. Alle diese Discontinuitäten und Unebenheiten vermehren die Strahlungsfähigkeit der Oberfläche und bewirken, dass unter sonst gleichen Umständen die bodenklimatischen Verhältnisse eines Gebirges ungünstiger ausfallen, als wenn die Oberfläche desselben flach, d. i. eben und zusammenhängend ist. Die Wärmestrahlung ist bekanntlich der Oberfläche des Körpers proportional, daher um so bedeutender, je mehr Ein- und Ausbiegungen, Vorsprünge, Risse, Höhlen, Spalten u. dgl. Unterbrechungen des Gesteins daran vorkommen. Rauhe und poröse Flächen strahlen überhaupt viel stärker als glatte.

Die Wirkungen der Sonne (Insolation) kommen hier nur in zweiter Reihe in Betracht, denn es ist nicht einzusehen, wie die Sonne etwas zur allmählichen Abnahme der Bodentemperatur mit zunehmender Höhe beitragen kann, da gerade auf den Gebirgshöhen die Bestrahlung eine wirksamere ist, weil in der dünneren, von Dünsten, Nebeln und Staub freieren Atmosphäre weniger Sonnenstrahlen absorbirt werden. Darum ist z. B. in den Berner Alpen, auf dem Faulhorn, bei 2682 Meter die mittlere Bodentemperatur (32 Centimeter tief) an einem sonnigen Tage der höchsten Lufttemperatur dieses Tages gleich, in den Niederungen ist dagegen die entsprechende Bodentemperatur stets viel niedriger, als die Lufttemperatur. Allerdings nimmt die Luft in den Niederungen durch die Sonnenstrahlen viel mehr Wärme auf, weil ihr Absorptionsvermögen der beträchtlicheren Dichte wegen größer ist, sie erwärmt sich daher mehr, als auf den Gebirgshöhen, aber die von den Niederungen aufsteigende warme Luft kann dennoch nichts zur Erwärmung der oberen Luftschichten beitragen; denn beim Aufwärtssteigen gelangt sie in einen luftverdünnten Raum, dehnt sich aus und bindet Wärme, wodurch sie sich sehr rasch abkühlt. Aber auch an der Abkühlung der oberen Regionen wird diese Luft dann kaum betheiligt sein; um eine namhafte Wirkung auszuüben, müsste sie eine viel größere Dichte und viel geringere Wärmecapacität haben; unter allen Umständen vermag sie als sehr schlechter Wärmeleiter dem Boden nur höchst wenig Wärme zu entziehen.

Warum nimmt dennoch die Bodenwärme [1]) in den Gebirgen mit der

---

1) Es ist auf jeden Fall passender hier von der Lufttemperatur abzusehen, denn sie lässt sich nicht so sicher bestimmen wie die Bodentemperatur. Was wir gewöhnlich

Höhe ab? Wir müssen hier vor Allem das durchschnittliche Wärmemaß eines Punktes und die zeitweisen Wärmegrade, die derselbe je nach der Tages- oder Jahreszeit erreicht, abgesondert im Auge behalten. Es wird wohl Niemandem zweifelhaft erscheinen, dass an den sehr beträchtlichen Temperaturschwankungen im Laufe eines heiteren Tages in der wärmeren Jahreszeit in den oberen Gebirgsregionen, wie nicht minder an den Temperaturvariationen während des Jahres die Sonne allein betheiligt ist. Vermöge der geringeren Dichte der Luft treffen die Sonnenstrahlen den Boden dort weniger geschwächt, wesshalb sich dieser viel stärker erwärmt als in der Ebene; doch derselbe Umstand bewirkt auch eine um so raschere Verflüchtigung der Wärme, daher um so grellere Temperaturextreme, je höher der Ort gelegen ist, was sich an den klimatischen Verhältnissen der Hochebene von Caxamarca u. a. in sehr ersichtlicher Weise geltend macht. Es ist auch natürlich, dass nicht jede Pflanze im Stande sein wird solche Schwankungen der Temperatur (zwischen 0 und + 35° C., oder —3 und + 30°, —5° und + 28° u. s. f. innerhalb eines Tages) ohne dauernden Schaden zu ertragen. Pflanzen der Ebene müssten, wenn sie unter solche Verhältnisse gerathen würden, entweder zu Grunde gehen oder sich allmählich unter entsprechender Abänderung ihres Organismus und ihrer Lebensfunctionen der neuen Ordnung der Dinge anpassen. Mögen wir uns übrigens das so oder anders denken, jedenfalls ist eine der Haupteigenschaften der Gebirgspflanzen die, dass sie durch rasche, mitunter erstaunliche Temperaturgegensätze keinen empfindlichen Schaden erleiden, und wir finden solche Gewächse je nach dem Grade dieser Widerstandsfähigkeit gleichsam stufenweise nach aufwärts derart verbreitet, dass eine jede Species vorzugsweise eine gewisse Höhenzone bewohnt.

Die Gebirgspflanze ist aber nicht nur befähigt, den raschen, im Sommer morgens und abends geradezu rapiden und sehr beträchtlichen Temperaturwechsel zu ertragen, sondern auch mit einem geringeren Wärmemaß ihren Lebenskreislauf zu vollenden, denn trotz der sehr enormen Erwärmung des Bodens im Sommer an heitern Tagen bleibt doch das arithmetische Mittel aller Temperaturen eines Tages, Monats oder Jahres auf den Gebirgshöhen niedriger, als für einen gegen die Sonne gleich situirten Ort in der Ebene, und lässt sich auch diese Abnahme der Mitteltemperaturen nach oben durch keine bestimmte Formel genauer ausdrücken, so bleibt sie doch nicht minder ein unleugbares Factum. Daran hat freilich die Sonne keinen Antheil mehr, hier sehen wir im Gegentheil

nach Ablesung des Thermometerstandes »Lufttemperatur« nennen, ist eigentlich nicht die Temperatur der Luft selbst, sondern die combinirte Wirkung der Resultirenden verschiedener thermischer Einflüsse, welche sich durch Dehnung und Zusammenziehung der Thermometersubstanz bemerkbar machen, als: Rückstrahlung des Bodens, Strahlung des Thermometers selbst etc.

das Ergebniss des Zusammenwirkens zweier irdischer Factoren, die, unberührt von den Fluctuationen der täglichen und jährlichen Sonnenwärme, als (der Zeit nach) constante Größen durch das Verhältniss der Zufuhr und Strahlung der Erdwärme in den Unebenheiten (Gebirgen) der Erdoberfläche nach obigem Gesetze zur Geltung gelangen.

B. Die Vegetation in ihren Beziehungen zur Erdwärme und jenen Factoren überhaupt, die von der Wärme mittelbar oder unmittelbar abhängen.

(Nach Beobachtungen aus dem Küstenland, Steiermark, Kärnten und Krain.)

I. **Das Gesetz der Verticalzonen.** Wenn man vom nördlichsten Gestade des adriatischen Meeres den Karst in nordöstlicher Richtung gegen den Trnovaner Wald[1]) hin durchschreitet, gelangt man, allmählich höher steigend, zunächst an den Rand des Wippachthales[2]), an dem sich mehrere kahle Kuppen wie altersgraue Trümmer vom Karstplateau abheben. Der eifrig beobachtende Naturfreund wird aber diesen Gang, wenn er auch meist durch öde und unwegsame Steingefilde führt, nicht ohne reichliche Belohnung für den beschwerlichen Marsch zurücklegen, denn es ist in unseren geogr. Breiten nirgends ein Zonenwechsel der Pflanzenwelt von augenfälligerer Gesetzmäßigkeit bekannt, als er hier in diesem nordwestlichsten Winkel des liburnischen Karstes[3]) vorkommt.

Dem fremden Botaniker fallen zunächst die Olivenhaine und Gehölze von Quercus Ilex L. an der Küste von S. Giovanni, Duino und Sestiana auf. Da glaubt sich derselbe im Winter auf einmal mitten in die Gefilde Ausoniens versetzt, nicht ahnend die Nähe jenes gefürchteten Sturmes, der zeitweise alle östlicheren Theile des Karstes in eine unnahbare von Frost starrende Wüste verwandelt. Hier aber klimmt zwischen dem Gesträuch die südländische Rubia peregrina L. und die kletternde Smilax, hier grünen Myrte, Cistus, Lorbeer, Cypresse und Phillyrea, allerdings nur vereinzelt und an den geschütztesten Stellen, begleitet von zahlreichen anderen Gewächsen aus der Zone der immergrünen Bäume und Sträucher, welche der felsigen Küste des mittelländischen Meeres eigen sind.

Aber schon bei Jamiano und Brestoviza, 3—4 Kilometer vom Meere, nehmen diese Gewächse von uns Abschied; von da an begegnen wir von Baum- und Straucharten nur noch einzelnen Carpinus orientalis

---

1) Ein gut bewaldetes, 700—1000 Meter hohes Karstplateau östlich von Görz.

2) Ein $4\frac{1}{2}$ Meilen langes, 1—2 Meilen breites eocänes Thalbecken nördlich von Triest.

3) Im engeren Sinne verdient diesen Namen eigentlich nur der Karst des kroatischen Küstenlandes und des östlichen Theiles von Istrien; den Karst nördlich vom Meerbusen von Triest zählten die Alten zum damaligen Istrien.

Lam.; Pistacia Terebinthus L. und Celtis australis L. Häufiger sind Ornus europaea Pers., Rhus Cotinus L. und Lonicera etrusca Santi, außer diesen bemerken wir noch Acer monspessulanum L. und an den felsigsten Abhängen den wilden Feigenbaum (Ficus carica L.), am häufigsten tritt aber Paliurus aculeatus Lam. auf, und während sich letzterer und Ornus auf unserer Wanderung gegen das obere Karstplateau immer mehr bemerkbar machen, bleiben die anderen Arten allmählich zurück. Häufiger zeigt sich bereits in den trichterförmigen Mulden und Thaleinschnitten Quercus pubescens Willd., ringsum auf den Steinhalden Prunus Mahaleb L., da und dort in Begleitung von Ostrya carpinifolia Scop.[1]) und strauchiger Ornus. Auch diese Lignosen treten zurück, wenn man die absol. Höhe von 600 Metern überschritten hat und der Gipfel des Trstl Berges (circa 700 Meter) in Sicht kommt. Zwei neue tonangebende Arten behaupten nun das Terrain: Carpinus Betulus L. und Corylus Avellana L. in Gemeinschaft mit Juniperus communis L.

Da nun diese Gewächse stets in derselben Ordnung auf einander folgen, ob man sich von Triest aus in nördlicher oder von Monfalcone aus in nordöstlicher Richtung dem Trstl Berge nähert, so erblicken wir in denselben mit Recht die Elemente einer pflanzengeographischen Zonenskala.

Der nördliche Abhang des Trstl Berges fällt mit gleichmäßiger Abdachung dem Wippachthale zu; oben ist derselbe (auf der Nordseite) mit Carpinus Betulus und Corylus Avellana bewachsen, tiefer unten bildet aber Quercus pubescens einen nahezu geschlossenen Gürtel längs des ganzen Nordabhanges bis ins Thal herab.

Noch viel mannigfaltiger ist die Gliederung der Zonenskala an den südlichen Gehängen des Čavn[2]), dessen eigenthümliche Flora von allen Bergen des nördlichen Littorale dem Botaniker die werthvollste Ausbeute gewährt. Bis auf die immergrünen Sträucher, welche hier am Fuße des Berges, nicht so sehr wegen der kaum 100 Meter betragenden Elevation als vielmehr wegen der größeren Entfernung vom Meere fehlen, wiederholt sich die Aufeinanderfolge der oben genannten Gewächse, aber in viel engeren Grenzen, indem vom Fuße des Berges bis zu dessen Gipfel nach dem Charakter der Vegetation nicht weniger als fünf pflanzengeographische Höhenzonen genau und scharf unterschieden werden können. Am Fuße des Berges gedeiht der Feigenbaum ganz gut, er wird auch in den dortigen Weingärten in Menge cultivirt, findet sich aber auch wild an den Felswänden, während der Ölbaum allerdings einer größeren Pflege, auch der Düngung, bedarf um zu fructificiren, dabei aber doch nicht so gut fortkommt wie an der Küste zwischen Duino und Monfalcone. Über dem

1) Hopfenbuche, in Steiermark allgemein Schwarzbuche genannt.

2) spr. Tschaun, der südliche Steilrand des Trnovaner Karstplateaus, 1300 Meter, 4 Meilen nördlich von Triest.

cultivirten, wilden und verwilderten Feigenbaum bildet wieder Quercus pubescens eine breite Zone, darüber folgt ein schmaler Vegetationsgürtel, der vorzugsweise aus strauchig verkrüppeltem Carpinus Betulus besteht, und nahe gegen die Spitze des Berges (bei 900 Meter abs. Höhe) erscheint die Rothbuche, Fagus silvatica, zunächst auch als Strauch, weiter oben als stattlicher Baum, während die bereits auf dem bewaldeten Plateau gelegene Spitze des Mali Modrasovez fast nur mit Nadelholz (Abies excelsa) bestanden ist.

Zwischen den Spitzen des Golakberges[1]), welcher nahe am Nordostrande des Trnovaner Waldes steht und 1517 Meter abs. Höhe erreicht, zeigt sich unzweifelhafte Alpenvegetation mit Krummholz (Pinus Mughus Scop. forma Pumilio), Rhododendron und Juniperus nana Willd., von denen die ersteren am Nordostabhang gegen das Tribuša Thal bis 1000 Meter herabgehen.

Demgemäß ergiebt sich mit Bezug auf die dominirenden Arten für die Vegetationsverhältnisse des nordwestlichen Karstgebietes folgende in der Natur begründete Zonenskala[2]):

1. Küstenzone, mit 16—15° C. mittlerer Bodentemperatur (an der Oberfläche). Vom Niveau des Meeres bis 100 Meter. — Region des Ölbaums und der immergrünen Lignosen überhaupt.

2. Vorstufe des Karstes, mit 15—13° C. Bodentemperatur. Nächst der Küste von 100 bis 200 Meter, stellenweise und besonders in den sonnigsten Positionen bis 300 Meter. — Region der Lignosen: Carpinus orientalis, Pistacia Terebinthus, Ficus carica (wild), Paliurus, Rhus Cotinus und der baumartigen Ornus. — Ein schmales Berg- und Hügelterrain zwischen Gradisca und dem adriatischen Meere; Südgehänge der Vorberge bei Görz.

3. Untere Bergzone, 13—11° Bodentemperatur. Beginnt längs der Küste großentheils bei 200 oder 250 Meter, am Fuße des hohen Karstes (im Wippachthal) bei 100—150 Meter und geht bis 550 Meter hinan. — Region der Lignosen: Quercus pubescens, Ostrya, Prunus Mahaleb und der strauchigen Ornus. — Dieser Zone gehört das Plateau des kahlen Karstes an, südlich von der Wippach.

4. Mittlere Bergzone, mit 11—9° Bodentemperatur. Beginnt am kahlen Karste vom Meere auf erst bei 650 Meter, am Südabhang des hohen reicht sie von 550 bis 900 Meter. — Region der Lignosen: Carpinus Betulus und Corylus Avellana.

---

1) Ungefähr 5 Meilen nnö. von Triest.

2) Die Grenzen der einzelnen Zonen sind gegen die in der »vergleichenden Übersicht der Vegetationsverhältnisse der Grafschaft Görz und Gradisca« (Österr. botan. Zeitschr. 1880) angenommenen etwas verschoben, da es sich später als zweckmäßig erwies, zwischen die bereits früher unterschiedenen Höhenzonen noch eine »mittlere Bergzone« einzuschalten.

5. Obere Bergzone, mit 9—7° mittlerer Bodentemperatur. Von 900 bis 1100 Meter. Beginnt in tieferen schattigen Lagen des Trnovaner Waldes schon bei 800 Meter. Region der Lignosen: Fagus silvatica, Fraxinus excelsior und Evonymus latifolius. — Der westliche Theil des Trnovaner Bergplateaus.

6. Voralpenzone, mit 7—5° Bodentemperatur. Von 1100 bis 1400 Meter. Beginnt in tieferen schattigen Lagen des Trnovaner Waldes schon bei 1000 Meter. — Region der baumartigen Nadelhölzer mit vorherrschender Abies excelsa und Sorbus aucuparia als Unterholz.. — Der östliche Theil des Trnovaner Bergplateaus.

7. Alpenzone, mit 5—3° Bodentemperatur. Von 1400 Metern an. Beginnt auf der Nordseite des Trnovaner Bergplateaus und in gewissen Mulden noch tiefer. —Region des Krummholzes und des Rhododendron; charakteristisch sind auch Arctostaphylos officinalis und Cetraria islandica. — Dieser Zone gehören die Gipfel des Golakberges und das Plateau des M. Matajur an.

8. Hochalpenzone, mit 3—1° und weniger Bodentemperatur. Beginnt bei 1900 Meter. — Region der Zwergweiden und Saxifragen. In diese Zone ragen die höchsten Terrassen des Karstes, nämlich die zwei nördlichsten, den Dolomitalpen vorgelagerten, isolirten Plateaus des M. Krn nördlich von Tolmein und des M. Canin westlich von Flitsch. Ersteres, mit dem sich nordöstlich ihm anschließenden Cau-Plateau ungefähr 1 □Meile umfassend, liegt 8, letzteres (noch einmal so groß) liegt 9 geographische Meilen vom Meere im nördlichen Flussgebiete des Isonzo. — Die Hochalpenzone kündigt sich durch das Auftreten von Eritrichium nanum Schrad., Cherleria sedoides L., Petrocallis pyrenaica R. Br., Gentiana imbricata Fröl. und Alyssum Wulfenianum Bernh. an. Von Lignosen hat nur die den Boden, wo dieser nicht zu felsig und humusarm ist, dicht überziehende Salix retusa L. in der obersten Zone eine allgemeine Verbreitung.

II. **Einflüsse, welche eine Umkehrung der Zonen bewirken.** Schon eine flüchtige Betrachtung der geographischen Verbreitung der Pflanzen lehrt uns, dass bei denselben das Wärmebedürfniss und die Widerstandsfähigkeit gegen nachtheilige Einflüsse oder das Anpassungsvermögen im Allgemeinen selbst bei den gattungsverwandten Arten sehr verschieden sein können. Diejenigen Species, bei denen diese beiden Eigenschaften nahezu übereinstimmen, werden natürlich auch beisammen vorkommen und für eine gewisse Vegetationszone maßgebend sein. Allerdings können nur die verbreitetsten und durch ihr Massenvorkommen überwiegenden Arten, die ihre ebenbürtigen Mitbewerber verdrängt haben, den Charakter der ihnen entsprechenden Zone zum klaren Ausdruck bringen. Die pflanzengeographischen Höhenzonen beruhen demnach zunächst auf einem statischen Gleichgewicht der Vegetation, bedingt einerseits durch die Gleichartigkeit,

andererseits durch die Verschiedenheit der Wärmebedürfnisse und der Widerstandsfähigkeit gegen schädliche Einflüsse, geregelt nach dem Grade dieser beiden Eigenschaften der Pflanzen.

Manche Arten sind durch ein enormes Anpassungsvermögen ausgezeichnet; solche treffen wir daher in mehreren Zonen zugleich an. Das gilt z. B. von Ornus europaea, Castanea vesca, Juniperus communis und Acer Pseudoplatanus, denn die erstere Art gehört der 2. und 3., die zweite der 3. und 4., die dritte der 4. und 5., die vierte der 5. und 6. Zone zugleich an, ohne dass ein vereinzeltes Vorkommen in einer nächst höheren oder nächst tieferen Zone ausgeschlossen wäre. Helleborus viridis ist durch drei (2, 3, 4), Globularia cordifolia durch fünf (3 bis incl. 4) und Saxifraga crustata Vest, wenn auch in der Hochalpenregion am häufigsten, sogar durch sechs (3. bis incl. 8.) Zonen verbreitet. Das höchste Anpassungsvermögen scheint aber doch Aronia rotundifolia Pers. zu besitzen, denn sie findet sich durch acht Zonen, von der Krummholzregion Kärntens bis zur subtropischen Zone Palästinas, in ziemlich gleichmäßiger Verbreitung als wohl bekannte Zierde dürrer sonniger Kalkfelsen.

Aber, wiewohl ähnliche Vorkommnisse auch in anderen Florengebieten constatirt wurden, so beweisen sie doch nur, dass einzelnen Arten eine ungewöhnliche Anpassungsfähigkeit eigen ist; das Gesetz der Höhenzonen können sie nicht erschüttern, weil sie doch im Ganzen nicht häufig sind. Dagegen wird in manchen Fällen das scheinbar enorme Accommodationsvermögen bei richtiger Würdigung der Position gegen die Sonne und besonders der Wärmeleitungs- und Strahlungsfähigkeit des Substrats auf ein bescheideneres Maß zurückgeführt.

Bekanntlich spendet in unseren geographischen Breiten die Sonne den Pflanzen im Winter nur sehr wenig Wärme, aber selbst diese ist für die Wurzeln, die empfindlichsten Theile, von denen zunächst die Erhaltung der Pflanze abhängt, nicht leicht von Vortheil, besonders wenn der Boden einmal fest gefroren ist, oder wenn ihn eine Lage von Schnee deckt.

Die Sonne begünstigt bei uns die einjährigen Gewächse viel mehr als die perennirenden; jenen gegenüber sind diese keineswegs im Vortheil, denn dadurch, dass sie hier im Sommer viel Wärme empfangen, zu einer Zeit wo der Lebenskreis der einjährigen Kräuter schon vollendet ist, kann ihnen nicht gedient sein: viel besser möchten sie mit $^4/_5$ dieses Wärmequantums auskommen, wenn das andere Fünftel für den Winter reservirt bliebe, denn einen beträchtlichen Theil der ihnen von der Sonne, besonders bei mehr continentaler Lage, gespendeten Wärme können sie nicht verbrauchen, während sie im Winter von dieser Wärmequelle keine Förderung erhalten, was sich vorzugsweise bei jenen Arten, die in unseren Breiten die nördliche Grenze ihres Vorkommens haben, fühlbar macht. Die Existenz solcher Arten hängt nämlich während des Winters von wenigen

Temperaturgraden ab und sie sind insbesondere durch diejenigen Theile, mit denen sie mit dem Boden in Berührung stehen zunächst vor die Alternative gesetzt: »Sein oder nicht sein«. Nichts kann daher einer solchen Pflanze willkommener sein als eine schützende Schneedecke, denn sie ist nun ganz auf die spärlich aus dem Innern der Erde ihr zufließende Wärme angewiesen.

Im Sommer reicht die Wärme im österreichischen Littorale nicht nur hin, die gegenwärtig dort vorkommende Vegetation zu erhalten, sie würde selbst das Gedeihen einer subtropischen Pflanzenwelt ermöglichen, wenn das verfügbare Jahresquantum der Wärme derart vertheilt wäre, dass der kälteste Monat nicht weniger als + 7° C. mittlerer Temperatur hätte und die Minima nicht unter 0 gingen. Wie ganz anders verhält sich die Sache in Wirklichkeit! Minima von —10° bis —12° C. sind in Triest und Venedig nicht gar so selten und richten bekanntlich viele Weinreben und Ölbäume zu Grunde.

Wie ein dem Untergange Entrinnender das Rettungsboot, so umklammert der Epheu den Fels in jenen geographischen Breiten, wo er wegen des zu rauhen Klima, vorzugsweise wegen der bisweilen viel zu niedrigen Temperatur der kälteren Monate, nur ausnahmsweise und vereinzelt vorkommt; er belehrt uns aber hierdurch über die Provenienz jener Wärme, die sein Leben im Winter erhält. Auf den äußersten nördlichen Vorposten ist der Epheu ausschließlich eine Felsenpflanze und gedeiht nur da, wo in dem compacten zusammenhängenden Felsgestein, das weit in die Tiefe hinabreicht, eine Wärme leitende Verbindung zwischen der Oberfläche und dem Innern der Erde besteht.

Lockeres Gestein leitet weniger, denn jede Unterbrechung der Gesteinsmasse ist nach einem wohl bekannten physikalischen Gesetze auch eine Unterbrechung in dem langsamen Strömen der Wärme aus dem Inneren der Erde gegen die Oberfläche. Im Allgemeinen leitet daher Kernfels besser als zerklüfteter Fels, dieser aber wieder besser als Schutt oder grober Sand, am schlechtesten leitet eine fein poröse, gar nicht zusammenhängende Mineralmasse wie trockene Asche oder Lavastaub. Wem sollte es nicht bekannt sein, dass man die Glut eines Herdfeuers, wenn man sie des Abends mit Asche bedeckt, bis zum folgenden Morgen erhalten kann? Macht man aber Asche glühend, so kühlt sie sich an der Oberfläche viel schneller ab als ein Felsstückchen, das ebenso viel Masse hat. Die Gegensätze in den Wirkungen der Wärmeleitung und Strahlung sind beim Sand natürlich geringer, aber jedenfalls viel beträchtlicher als beim Trümmerfels; hat jedoch der Fels eine compacte, gleichmäßig dichte Masse und eine glatte Oberfläche, so ist der Effect der Leitung am größten, die Wirkung der Strahlung am geringsten, wesshalb sich der Gegensatz der Temperaturen des Inneren und der Oberfläche zwischen den engsten Grenzen bewegt.

III. **Wärmeleitungsfähigkeit und Strahlungsvermögen stehen bei den mineralischen Substanzen des Erdbodens im umgekehrten Verhältnisse zu einander,** d. h. eine Bodensubstanz, welche die Wärme der Sonnenstrahlen und aus dem Inneren der Erde gut leitet, strahlt an der Oberfläche wenig Wärme aus, eine schlechtleitende dagegen viel, wesshalb sich diese beiden Momente in ihren Wirkungen verstärken, d. h. ist das Substrat ein weit in die Tiefe sich fortsetzender Kernfels, so gelangt daselbst verhältnissmäßig viel Wärme an die Oberfläche, und diese Wärme kann auch den daselbst wachsenden Pflanzen zu Gute kommen, da sie nicht so schnell durch Strahlung verloren geht; ist aber das Substrat ein poröser zerbröckelter Tuff, Schutt oder ein erdiges Zersetzungsproduct, so holt es aus der Tiefe nur sehr wenig Wärme, aber selbst diese kann den darauf wachsenden Pflanzen nicht nützen, weil sie durch die rasche Strahlung an der porösen Oberfläche gar zu schnell sich verflüchtigt.

Diese beiden Momente zeigen sich von so tief greifender Wirkung, dass sie unter Umständen selbst eine Umkehrung der Zonen bewirken. Eine solche wurde auch vom Verfasser bei Cilli in Untersteiermark im Spätherbste 1879 constatirt. In den 3 Wochen vom 20. October bis 12. November wurden die Waldungen in Folge wiederholter Fröste theils entfärbt, theils entlaubt. Man konnte weit und breit in der Umgebung der Stadt, den Epheu ausgenommen, keinen grün belaubten Baum oder Strauch mehr sehen; an den Eichenbäumen hing zwar das Laub noch, aber es war durchaus braun und die Weiss- und Rothbuchen (Carpinus und Fagus) waren meist schon ihrer braunen Blätter beraubt. Nur auf der Vipota, einem ungefähr 500 Meter abs. Höhe erreichenden Berge an der Sann, südlich von der Stadt, sah man oben am Gipfel und ringsherum bis 100 Meter vom Gipfel herab noch schönes Waldgrün.

Um diese Erscheinung, die in einem so grellen Contraste zur winterlichen Umgebung stand, besser ins Auge fassen zu können, erstieg ich den Gipfel des Berges noch an demselben Tage und fand oben compacten Kalkfels, mit dichtem Gesträuch von Quercus Robur β L., Q. Cerris, Q. pubescens und noch einigen Eichenformen, die theils der Q. pubescens, theils der Q. apennina Lam. nahe stehen, bewachsen, darunter aber auch Ornus in zahlreichen schon entlaubten Stämmen, während die in noch größerer Menge vertretene Ostrya (Schwarzbuche) rings um den Gipfel sowohl auf der Süd-, als auch auf der Nordseite noch ganz grün war.

Die genannten Arten sind, mit Ausnahme von Q. Robur, eminente Vertreter der 3. Zone oder unteren Bergregion des Karstes. Mit dem Auftreten derselben am Gipfel des Vipota Berges fand ich auch die beachtenswerthe Erscheinung, dass dort oben nicht blos südseitig, sondern auch nordseitig der Schnee ganz verschwunden war, während er die Nordseite der umliegenden gleich hohen Berge, wo diese Arten nicht vorkommen, noch in mächtigen Lagen deckte, in vollkommenem Einklange. Dieser Um-

stand in Verbindung mit dem Vorkommen der obigen Repräsentanten der hauptsächlich im Littorale über dem wärmeren Karste ausgebreiteten 3. Zone, und die Wahrnehmung, dass die Eichen kaum die ersten Spuren des Frostes zeigten, während die Schwarzbuche noch ganz unversehrt war, lässt uns mit Sicherheit darauf schließen, dass hier dem felsigen Boden eine verhältnissmäßig beträchtliche Wärmemenge entströmt. Dies ist auch der Grund, warum der Epheu hier auf der Nordseite nicht so ängstlich den Schutz der Felsen sucht; die dem Boden entsteigende Wärme ist beträchtlicher als irgendwo in der Umgebung, die Strahlung dagegen so gering, dass die beiden günstigen Umstände auch das Fortkommen desselben an den höchsten Bäumen ermöglicht. Die ältesten Schwarzbuchen sind auch mit Epheu derart belastet, dass sie unter der schmucken Bürde fast zusammenbrechen.

Etwa 100, stellenweise 150 Meter unter dem Gipfel wird kein Kernfels mehr sichtbar, an seine Stelle tritt der Trümmerfels und mit ihm zeigt sich die Weißbuche, Carpinus Betulus, die einen förmlichen Gürtel um den Berg bildet. Aber tiefer unten wird auch der Trümmerfels von Schutt (auf der Nord- und Nordostseite) und lehmigen Zersetzungsproducten (im Osten und Südosten) überlagert, da wird aber die Weißbuche durch die Rothbuche, Fagus silvatica, verdrängt, in deren Begleitung auch andere Vertreter der 5. Zone erscheinen. Hier bildet die Rothbuche schöne dickstämmige Waldbestände; in ihrem Bereiche kommt kein Epheu vor, in der nächst höheren Zone, der Weißbuche, erscheint er als Felsenkletterer und in der obersten, der Schwarzbuche, tritt er als mächtig entwickelter Baumbewohner auf. Man kann sich keine vollständigere Umkehrung der für den Karst geltenden Zonenfolge denken.

Die umliegenden Berge sind, wo sie aus trachytischen und diabasischen Tuffen und deren pelitischen Zersetzungsproducten bestehen, auf der Südseite großentheils mit Quercus Robur und Q. pedunculata (Winter- und Sommereiche) bestanden, auf der Nordseite aber mit der Rothbuche bewaldet, in deren Nähe sich gern die Grünerle (Alnus viridis DC.) zeigt; auch sind solche Waldungen in der Regel von der Weißbuche umsäumt, wenn Felsgestein den Untergrund bildet. Die Manna-Esche (Ornus europaea) tritt in der Regel unmittelbar auf dem Felsgestein auf, theils auf Kalk theils auf Trachytporphyr, auf weichem Boden dagegen nur dort, wo tiefer unten compacter Fels steht. Wo jedoch am Gipfel eines aus Tuffen und pelitischen Zersetzungsproducten bestehenden Berges mächtige Kalkfelsen emporragen und, sich nach abwärts fortsetzend, gleichsam den Kern desselben bilden, da kann man sicher sein auch Ostrya und Quercus pubescens nebst manchen anderen Repräsentanten der 3. Zone anzutreffen, ja hin und wieder wird man selbst nach Spartium junceum L., Euphorbia fragifera Jan, Ononis Columnae All., Genista diffusa Willd., G. scariosa Viv. und

G. silvestris Scop., Melissa officinalis u. a. südeuropäischen Arten nicht vergeblich suchen; in Strauchform hält die Schwarzbuche in Untersteiermark als Felsenpflanze bei 800 Meter jeden Winter ganz gut aus.

Würde der Kalkfels in Untersteiermark eine über viele Quadratmeilen ausgebreitete zusammenhängende, 400 bis 500 Meter mächtige und compacte Masse bilden, so ist nichts sicherer, als dass wir darauf Myrten- und Lorbeerhaine anstatt unserer Fichtenwälder, und Cypressen, Öl- und Feigenbäume in der Umgebung von immergrünen Eichen dort sehen würden, wo jetzt Buchenwaldung und Gebüsche der Alnus viridis die frostigen Nordabhänge der Gebirge überziehen.

Dieser Theil der Erdoberfläche hat sich allerdings, mit anderen zugleich, einmal solcher südländischer Vegetation erfreut; die Paläontologie liefert hiefür einen untrüglichen Beweis in den zahlreichen Blattabdrücken und verschiedenartigen Resten von Pflanzen, die theils einer halbtropischen Flora angehörten, wie sie heutzutage z. B. in den südlichsten Territorien der Vereinigten Staaten beobachtet wird, theils der Pflanzenwelt der heutigen Mittelmeer-Länder.

Weiß man auch nicht bestimmt, wann jene gewaltigen Ereignisse stattgefunden haben, welche dieser paradiesischen Ordnung der Dinge in unseren (mitteleuropäischen) Breiten ein Ende machten, so kann man doch im Allgemeinen annehmen, dass es vorzüglich gegen Ablauf der Tertiärzeit geschah, als unter mächtigen Stößen und Erschütterungen, die sich wohl öfter wiederholt haben mussten, an unzähligen Stellen die Erdrinde brach und deren Trümmer durch verschiedenartige Dislocationen und Pressungen zerdrückt und durch anderweitige Processe in pelitische (erdige und sandige) Producte verwandelt wurden. Solche Vorgänge hatten wohl schon lange früher begonnen, aber mit wechselnder Intensität bald da bald dort auf die älteren Schichten eingewirkt. Hierdurch wurde die wärmeleitende Verbindung zwischen der Oberfläche und dem Inneren der Erde nach und nach großentheils unterbrochen, die Vegetation einer mächtigen Wärmequelle beraubt und in eine größere Abhängigkeit von der Sonne gebracht. Nur an einzelnen begünstigten Stellen dauert diese Verbindung, freilich nicht mehr in ihrer vollen Ursprünglichkeit fort. Solche Localitäten erscheinen dem Pflanzengeographen als die einzigen Fäden, an denen noch die Gegenwart der Pflanzenwelt mit deren Vergangenheit zusammenhängt.

H. Christ entwirft ein anschauliches Bild von einem derartigen Rest früherer Vegetation mitten in der Alpenwelt, indem er die für ihre geographische Lage wahrhaft seltsame Flora der Felsenhügel von Saillon, Valere, Sierre und Tourbillon an der Rhone im oberen Wallis schildert[1]). Neben gewissen charakteristischen Gramineen, welche daselbst endemisch, ein Erzeugniss des vorwiegend trockenen Walliser Klimas zu sein scheinen,

1) Das Pflanzenleben der Schweiz, pag. 95—105.

fesseln unsere Aufmerksamkeit als Bewohner der Felsenhaide zahlreiche mediterrane Arten, die zu der alpinen Umgebung des Rhonethals und seiner Vegetation nicht im mindesten passen, solche sind: Ononis Columnae, Lathyrus sphaericus, Rubia tinctorum, Crupina vulgaris, Vinca major, Cheiranthus Cheiri, Micropus erectus, Foeniculum officinale, Molinia serotina, Tragus racemosus, Cynosurus echinatus, besonders aber Lonicera etrusca, Rhus Cotinus, Colutea arborescens, Ephedra helvetica C. A. Meyer, Opuntia vulgaris Mill., Punica Granatum, Ficus carica und Amygdalus communis, von deren Indigenat oder wenigstens Naturalisation Jeder, der die Flora des Wallis aus eigener Anschauung kennt, überzeugt sein dürfte, denn man findet sie ohne alle Pflege, die Mandel und Granate als dorniges Gesträuch, die übrigen gleichfalls in ganz wildem Zustand auf entlegenen und schwer zugänglichen Felsen, wohin sie wohl keines Menschen Hand versetzt hat.

Das Vorkommen all' dieser Charakterpflanzen des Wallis harmonirt auffallend wenig mit den so niedrigen Temperaturwerthen des Rhonethals bei Sion, die nur im Vergleich zu der alpinen Umgebung hoch erscheinen, denn der Winter hat im Mittel + 1·2°, der Frühling 11·2°, der Sommer 19·3, der Herbst 10·5° und das Jahr 10·61° C. Eine mittlere Wintertemperatur von + 1·2° C. ist denn doch gar zu wenig für die genannten Pflanzen, und es ist geradezu höchst unwahrscheinlich, dass das Fortkommen derselben durch dieses Wärmemaß im Winter (dessen Minimum —10·2° C. beträgt) ermöglicht ist, da selbst bei Görz mit einem Jahresmittel von ziemlich genau 13° C. die mittlere Wintertemperatur von + 4·3° weder der wilden Granate (die erst bei Duino vorkommt), noch dem Mandelbaum und der Opuntia im Freien zu genügen scheint. Görz ist, wenn man seine Jahrestemperatur und die Nähe des Meeres in Anschlag bringt, besonders mit Hinblick auf die Flora des Wallis, arm an Typen der mediterranen Vegetation; dort, obschon kaum 3 Meilen vom Meere, erhalten sich nur mit genauer Noth an den am meisten begünstigten Stellen der südlichen Berggehänge einige Büsche von Quercus Ilex, Pistacia Terebinthus, Osyris alba und Teucrium flavum, während im südlichen Tirol, besonders im Giudicarien-Gebirge, außer Q. Ilex und Pistacia, die hier viel häufiger sind als bei Görz, zahlreiche Arten vorkommen, die man viel eher bei Görz als im südlichen Tirol, 15—17 Meilen weit vom Meere, vermuthen möchte; von diesen sind am meisten erwähnenswerth: Erica arborea, Phyllirea media, Ephedra distachya, Capparis spinosa, Jasminum officinale, Nerium Oleander, Opuntia vulgaris, Punica Granatum. Möglicherweise ist ein oder die andere der genannten Arten durch die Cultur eingeführt, gewiss ist soviel, dass sich jede im Freien wie eine vollkommen indigene Pflanze verhält.

Aber sagt uns nicht das an den Fels angedrückte Granat-, Feigen- und Mandelgebüsch des Wallis, dass der Pflanze hier an den felsigen Localitäten ein höheres Wärmequantum zugeführt wird, als es dem Jahresmittel von + 10·61° C. und dem Wintermittel von + 1·2° entspricht? Wir möchten es kaum bezweifeln, da die obigen Temperaturwerthe durch Beobachtung der Lufttemperatur in einer gewissen Höhe über dem Boden gewonnen wurden, die »Lufttemperatur« aber das combinirte Ergebniss der calorischen Einwirkung des Erdinneren, der Sonnenstrahlung, der Rückstrahlung der Oberfläche des Bodens, der Luftströmungen etc. ist. Je günstiger die calorischen Bodenverhältnisse sind, desto höher muss, auch abgesehen von einer kräftigen Sonnenstrahlung, die Lufttemperatur ausfallen. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass das Wallis, wenn es nur einen sehr tiefgründigen Alluvialboden mit Sand- und Kiesbänken, Thonlagern etc. hätte, trotz seiner großartigen Thalbildung außer Föhren- und Fichtenwäldern, Weidengebüsch, ubiquistischen, nordischen und alpinen Arten keine anderen Gewächse aufzuweisen hätte.

An und für sich ist die Lufttemperatur noch nicht maßgebend oder bestimmend für das Vorkommen von Mediterranpflanzen. Eine niedrigere Lufttemperatur kann wohl der Baum-Vegetation des Südens bald ein Ziel setzen, aber es können doch dieselben Arten: Feige, Mandel, Granate, Rhus Cotinus u. a. am Boden als strauchige Pygmäen fortwuchern, wenn nur die Bodentemperatur den erforderlichen Minimalgrad erreicht. Wo also an einer bestimmten Localität bei sehr mäßigem Jahresmittel (10—11° C.) der Lufttemperatur entschiedene Vertreter der Mittelmeerflora — die Lignosen freilich nur als niedrige Sträucher — noch weiter existiren können, Arten die in ihrer eigentlich heimischen Zone von 14—15° C. Jahresmittel als stattliche Bäume oder ansehnliche Sträucher in die milde Atmosphäre emporstreben, da sind es begünstigende calorische Bodenverhältnisse: größere Wärmeleitungs- und geringere Strahlungsfähigkeit des Gesteins, welche die Ungunst der rauhen Lüfte mäßigen oder gewissermaßen compensiren.

IV. **Einfluss der Wärme auf das Ernährungssystem der Pflanzen.** Ist aber die Rauhigkeit der Luft, die extreme Kälte, wie sie bisweilen auch südlichere Gegenden Europas heimsucht, die einzige Ursache, dass die Arten der Mittelmeerflora im Norden (nördlich von der Parallele $45\frac{1}{2}$° n. Br.) zu keiner üppigen Entwicklung gelangen können, daselbst vielmehr nur als Zwergsträucher ein kümmerliches Leben fristen, um als Opfer der nächsten strengen Kälte aus einem ganzen Territorium zu verschwinden? Ist das Maß der einer Pflanze überhaupt zukommenden Gesammtwärme ein Agens, welches durch seine directe Einwirkung auf den Pflanzenorganismus allein die Grenzen der Mediterranflora bestimmt, beziehungsweise verschiebt?

Wer die in einem botanischen Garten oder in einer Parkanlage Mitteleuropas im Freien und ohne Schutz gegen die Kälte cultivirten Baum- und

Straucharten genauer durchmustert, wird sicher darunter viele Species finden, die einer südlicheren Zone angehören, gleichwohl aber nicht nur durch viele Jahre dort, in einem rauheren Klima vegetiren, sondern auch eine Größe erlangen, wie kaum in ihrer heimischen Zone. So hat z. B. Graz (47° 4′ n. Br.) nur 9·1° C. mittlerer Jahrestemperatur, in seiner Umgebung wird kein nennenswerther Weinbau betrieben; die Flora der Umgebung setzt sich aus Arten der 4., 5. und 6. Karstzone zusammen, nur wo compacter Kalkfels auftritt, zeigt sich Quercus pubescens, aber stets als vereinzelte und seltene Erscheinung. Im botanischen Garten und im Stadtpark jedoch werden, obgleich der Untergrund (tiefreichendes Alluvium) daselbst keine irgendwie begünstigende calorische Eigenschaften besitzt, eine Menge südlicher Baum- und Straucharten frei, d. i. ohne Schutz gegen die Kälte gezogen, Arten, die für die Flora der am adriatischen Meere gelegenen warmen Landstriche geradezu charakteristisch sind, wir wollen beispielsweise folgende nennen: Cytisus Weldeni Vis., Tamarix africana, Diospyros Lotos[1]), Acer neapolitanum Ten., Elaeagnus sp. pl., Philadelphus coronarius, Lycium barbarum. Aus einer minder warmen, aber jedenfalls wärmeren Zone als Mittelsteiermark: Amygdalus communis, Pyrus amygdaliformis Vill., Prunus Mahaleb, Rhus Cotinus, Corylus tubulosa, Ostrya carpinifolia, Acer monspessulanum, Quercus Cerris, Buxus sempervirens.

Aber das merkwürdigste, was wir an diesen Arten finden, ist nicht, dass sie überhaupt in einem fremden und ihnen sicher nicht günstigen Klima ausdauern, sondern dass mehrere daselbst größere, üppigere Dimensionen erreichen als in den nördlichen Theilen ihrer Heimath (zwischen 44 und 46° n. Br.) längs des adriatischen Meeres. Cytisus Weldeni wird zu einem über 3½ Meter hohen, mehrstämmigen Strauch mit schenkeldicken Ästen, die Tamarix bringt es zu einem 12 Centimeter dicken Stamm, der freilich in sehr strengen Wintern bis 2 Meter über der Erde abstirbt, während sich die Pflanzen ringsum durch unzählige frische Triebe renovirt; dasselbe gilt von Diospyros Lotos; die Elaeagnus-Arten sind zwar knorrige, schwach verzweigte, aber dicke und ziemlich hochstämmige Bäume, gleichwie Amygdalus communis. Acer nea-

---

1) Diospyros Lotos und Cercis siliquastrum fructificiren freilich in den Gärten von Graz nicht, wohl aber die übrigen oben genannten Arten, wenn auch etliche nur selten und spärlich, wie z. B. die Species von Elaeagnus. Dass Pyrus amygdaliformis hier keine Früchte ansetzt, ist höchst wahrscheinlich nicht Mangel an genügender Sommerwärme Schuld, sondern die zu feuchte Lage der Pflanze (die trockene sonnige Standorte liebt) in den hiesigen Gärten, da doch Craetaegus pyracantha und Cr. Azarolus, Amygdalus communis, Cydonia japonica, Pavlownia imperialis, Magnolia Yulan, Broussonetia papyrifera, Mahonia Aquifolium, Cytisus Weldeni u. a. in manchen Jahren mit wohl ausgebildeten Früchten dicht behängt sind.

politanum zeigt geradezu sehr ansehnliche Dimensionen, es sind 40—60 Centimeter dicke und 12—15 Meter hohe Bäume, die noch keine Spur eines durch Kälte erlittenen Schadens tragen.

Prunus Mahaleb bleibt im nördlichen Karstgebiet nur strauchartig, gewöhnlich nicht über 4 oder 5 Meter hoch, im botanischen Garten zu Graz ist diese Lignose ein 50 Centimeter dicker, gegen 13 Meter hoher, ungefähr 70 Jahre alter Baum; Corylus tubulosa 20 Centimeter dick, 8 Meter hoch, Rhus Cotinus und Buxus sempervirens sind stark verzweigte 3—4 Meter hohe Sträucher mit armdicken Ästen. Die übrigen Arten bleiben wenigstens in der Größe im Vergleich zu ihrer Entwicklung im Küstenland, Istrien und Dalmatien nicht zurück.

Es ist kaum nöthig die verschiedenen Arten der Platanen, Rhus, Celtis, Ailanthus, Broussonetia u. a. zu erwähnen, von denen die meisten aus wärmeren Gegenden stammen als das mittlere Europa und die dennoch in den Parkanlagen Österreichs, Deutschlands und des nördlichen Frankreichs trotz der strengen Winter, wie jener von 1879—80, ausdauern.

Sollen wir blos annehmen, dass sich seit der Glacialzeit das Klima Mitteleuropas derart gebessert hat, dass nun solche Arten die nördliche Grenze ihrer Verbreitung um 4 bis 6 Breitegrade, oder wenn wir die Üppigkeit der Entwicklung ins Auge fassen, um 8 bis 10 Grade nach Norden verschieben können, oder sollen wir die Ursache dieser Erscheinung auch noch in einer gewissen Eigenschaft der Luft und des Bodens der von Menschen bewohnten und bebauten Orte suchen, welche vielleicht der Pflanze einen Theil der sonst nöthigen Wärme entbehrlich machen?

Entschließen wir uns für die erste Alternative, — eine Besserung des Klimas in Mitteleuropa seit der Eiszeit wird ja kaum jemand in Zweifel ziehen — so haben wir die Gründe aufzufinden, warum sich Arten wie Prunus Mahaleb, Acer monspessulanum, Ostrya, Quercus Cerris u. a., deren Verbreitung wegen ihrer genießbaren Samen durch wandernde Vögel, Mäuse und sonstige Thiere keiner besonderen Schwierigkeit unterliegt, nicht schon über ganz Mitteleuropa verbreitet haben, da die Jahrtausende seit der Glacialzeit doch keine so unbedeutende Zeitspanne sind, wenn wir erwägen, dass sich schon in 50—100 Jahren die statistischen Verhältnisse der Flora eines Landes merklich ändern. Triftige Gründe, welche die Besiedlung der mitteleuropäischen Florengebiete durch die genannten Arten in den Jahrtausenden, seit die Oberfläche der Erde im Wesentlichen die gegenwärtige Gestalt hat, verhindert hätten, werden sich kaum auffinden lassen: solche und andere Pflanzen zeigen entschieden keine Neigung aus den Gärten auf die Grastriften, Berggehänge, Haiden und in die Wälder überzusiedeln, wenn es ihnen auch an Transportmitteln nicht fehlt. Wo ein Philadelphus, ein Lycium, eine Syringa oder ein Ribes aureum im Norden den Garten verlässt,

bleibt die Pflanze stets in der Nähe menschlicher Wohnungen, sie macht auch nach vielen Jahren von hier keinen Schritt weiter gegen das unbebaute Freiland, obschon sie in ihrer Heimath keine Ruderalpflanze ist. Durch die botanischen Gärten, Parkanlagen und zahlreichen Privatgärten, die ebenso viele künstlich vorgeschobene Posten fremdländischer Gewächse genannt werden können, müssten sich seit 50—100 Jahren solche in den Gärten ohne Schutz gegen die Kälte ausdauernde Gewächse, wenn es auf klimatische Einflüsse direct ankäme, wohl schon auf uncultivirtem Boden fern von den Städten und Dörfern eingefunden haben. Aber wir sagen: »Die Pflanze gedeiht bei uns nur cultivirt«, und mit Recht, denn die Wärme wirkt auf die Pflanze im Allgemeinen auf zweierlei Art ein: direct, indem sie unmittelbar die chemischen Processe, die Umsetzung der Stoffe, fördert und im Übermaß oder bei zu excessivem Mangel (Kälte) den Tod herbeiführt, indirect, indem sie das Ernährungssystem auf die mannigfaltigste Weise beeinflusst, und zwar äußerlich durch Lösen, Diffundiren, Festhalten und Concentriren oder im ungünstigen Falle durch Verflüchtigen der Nährstoffe im Boden und innerlich durch Förderung, beziehungsweise Hemmung des Wachsthums und der Entwicklung der Wurzeln.

Durch Gefrieren in Folge gelinder Kälte gehen nur wenige Pflanzen sofort zu Grunde, es sind fast ausschließlich Arten aus wärmeren Gegenden, sämmtlich Sommerpflanzen, die in Europa cultivirt werden, besonders Cucurbitaceen, Mais, Phaseolus-Arten, Polygonum Fagopyrum, Ipomoea, Balsaminen etc. Sie haben ein hohes Wärmebedürfniss; schon ein Sinken der Temperatur auf + 3 oder + 4° C. erweist sich für sie nachtheilig, da es die Turgescenz der Zellen der Wurzelhaare und deren Aufsaugungsfähigkeit für Wasser und darin aufgelöste Nährstoffe vermindert, wesshalb solche Pflanzen, wenn die Verdunstung fortdauert, beim Eintritt der Kälte verwelken, lange bevor der Gefrierpunct erreicht ist.

Plötzliche und sehr starke Temperatur-Schwankungen zwischen 0° und + 50° C. erwiesen sich bei den Versuchen von de Vries mit vielen in Vegetation begriffenen Pflanzen als dem Leben ungefährlich, insofern weder unmittelbar noch später eine Beschädigung wahrzunehmen war. Damit ist jedoch nicht gesagt, dass stärkere Temperaturvariationen wirkungslos an der Pflanze vorübergehen. Vielmehr zeigten die allgemeinen Erfahrungen bei der Pflanzencultur, noch mehr die Versuche Hofmeister's (Pflanzenzelle, pag. 53) und de Vries's über Protoplasmabewegung, wie nicht minder Wl. Köppen's über das Wachsthum der Wurzeln[1], dass, wenn der Pflanze überhaupt eine günstige Temperatur zu Gebote steht, ihre Functionen um so energischer vor sich gehen, je constanter diese günstige Temperatur ist.

---

1) Wärme und Pflanzenwachsthum. Inaugural-Dissertation. Moskau, 1870.

Der Zusammenhang zwischen dem Temperaturwechsel und den übrigen mitwirkenden ungünstigen Umständen ist aber schwer zu durchschauen, da (nach SACHS) jeder auch raschen Hebung und Senkung der Temperatur eine Hebung und Senkung der Wachsthumsgeschwindigkeit entspricht, obgleich nach KÖPPEN die Zuwachse längerer Zeiten geringer sind bei schwankender als bei constanter Temperatur, wenn auch in beiden Fällen die Mitteltemperatur dieselbe ist. KÖPPEN gelangt zu dem sehr beachtenswerthen Resultat, »dass bei plötzlichem Wechsel zwischen in sich constanten Temperaturen der Schaden der raschen Wärmeänderung in Vergleich zu solchen Versuchen, bei denen die Wandelung langsamer vor sich ging, aber die ganze Zeit ausfüllte, mehr als compensirt wird durch den Nutzen, welchen die Beständigkeit der Temperatur in den Zwischenzeiten bringt; dass demnach das Ergebniss der Versuche sich nicht anders auffassen lässt als dass: während der Temperaturänderung das Wachsthum langsamer vor sich geht, als bei gleicher (mittlerer) constanter Temperatur« (l. c. p. 22). Er erwähnt ferner; »Das Wachsthum der Zwiebelpflanzen macht an der Südspitze der Krim im Frühjahr (nach mehrjährigen Beobachtungen) an sonnigen Tagen des Februars und Märzes weit geringere Fortschritte, als an trüben Tagen, die um Mittag weit kühler waren als jene heiteren, bei denen aber auch der Unterschied zwischen Tages- und Nachttemperatur bei weitem geringer war« (p. 25).

A. P. DE CANDOLLE theilt in seiner Physiologie auf drei Tafeln[1]) das Datum des Ausschlagens zweier Bäume von Aesculus Hippocastanum zu Genf in den Jahren 1808—31, nebst Angaben über die Witterungsverhältnisse der betreffenden Jahreszeit der Periode 1819—31 mit. Durch eine entsprechende Anordnung dieser Tabellen werden die darin enthaltenen Daten auch für unsere vorliegende Frage sehr instructiv. Es zeigte sich: je heiterer die Witterung war, desto höhere Temperaturen waren nöthig, um den verzögernden Einfluss der vergrößerten Temperaturoscillation auszugleichen. Es ist dieses auch DE CANDOLLE nicht entgangen. Er sagt hierüber (p. 434); »Ich halte es für ein nicht uninteressantes Resultat, dass die nächtliche Abkühlung in den heiteren Zeiten einen größeren Einfluss auf die Bäume auszuüben scheint, als die den Tag über durch die Sonnenstrahlen bewirkte Erwärmung«.

Wenn daher eine Pflanze an einen Boden angewiesen ist, dessen calorische Eigenschaften wegen zu großer Strahlungsfähigkeit ungünstig sind, indem die Temperaturen darin innerhalb 24 Stunden unausgesetzt und zwischen weiten Grenzen wechseln, so kann das Wurzelsystem zu keiner kräftigen Entwicklung gelangen, und die Pflanze muss allmählich Hungers sterben, wofern der Boden nicht sehr fruchtbar ist, d. h. wenn er nicht auf einem beschränkten Raume eine möglichst reichliche Menge von Nähr-

1) Bd. 1, Buch II, p. 430 der deutschen Übersetzung von RÖPER.

stoffen enthält. Alle Feigenbäume, welche z. B. bei Görz in Weinbergen auf lehmigem oder mergeligem Boden cultivirt werden, gehen, wenn sie dann sich selbst überlassen werden, vorzeitig durch Entkräftung oder Erschöpfung zu Grunde; sie verwildern keineswegs, wogegen sich der Feigenbaum auf felsigem Grund so leicht einwurzelt, wo ihm weder andere mit vorkommende Pflanzen noch gelinde Fröste merklich schaden. Will man ihn aber auf mechanisch zersetztem: erdigem, lettigem oder sandigem Boden fortbringen, so muss man diesen zu gewissen Zeiten auflockern und vor allem das Unkraut entfernen. Die durch Auflockerung vermehrte Strahlungsfähigkeit des Bodens wird durch den Vortheil einer reichlicheren Zufuhr von gasförmigen Nährstoffen mehr als compensirt. Ähnlich verhält sich der Ölbaum, der, noch wärmebedürftiger, im österreichischen Littorale gleichfalls nur auf compactem Kalkfels leicht verwildert; auf weichem tiefgründigem Terrain gedeiht er bei Görz und im Wippachthal nur bei entsprechender Behandlung des Bodens und verlangt, um jährlich zu fructificiren, reichliche Düngung.

Wer nicht selbst schon in die Spalten und Fugen des Felsgesteins, worauf z. B. Ornus, Ostrya und Quercus pubescens wachsen, bei Sprengungen einen Blick gethan, dürfte es kaum für möglich halten, wie tief und auf welche Entfernungen solche Gewächse ihre Wurzeln schlagen: weit und breit bemerkt man bisweilen keinen Baum oder Strauch und doch sind alle Klüfte von Wurzeln durchzogen, welche dem Gestein, wenn auch langsam, doch nicht minder arg zusetzen als die Dynamitpatrone. So wird nicht selten von dem Wurzelsystem eines einzigen kleinen Felsenstrauches ein Terrain, das unter anderen Umständen 20 solche Sträucher beherbergen könnte, in Contribution gezogen. In der Tiefe von 1—2 Meter sind die Wurzeln vor den schädlichen Schwankungen der Temperatur (im Laufe der täglichen Periode) geschützt, können trotz des engen Raumes, der ihnen zu Gebote steht, sich leicht verzweigen und in dem ausgedehnten Bereiche hinlängliche Nahrung finden.

Ganz anders werden sich dieselben Arten im fruchtbaren Gartenland verhalten. Hier ist der Boden durch die Düngerstoffe mit Ammonium-, Schwefel-, Phosphor- und Kaliumsalzen reichlich imprägnirt; schon die Atmosphäre in der Nähe menschlicher Wohnungen allein liefert eine mehr als genügende Menge von Ammoniumcarbonat, das von der Erdkrume durch Absorption aufgenommen wird. Die Pflanze kann somit ein weit ausgebreitetes Wurzelsystem entbehren, sie kann es aber auch nicht ausbilden, weil die calorischen Bodenverhältnisse der Entwicklung desselben nicht günstig sind, wesshalb sie nach und nach durch Erschöpfung zu Grunde gehen müsste, wenn der Boden nicht in ihrer unmittelbaren Nähe einen solchen Vorrath von Nährstoffen enthalten würde.

Mit Hinblick auf die hier in Kürze erörterten Momente dürfte es daher vortheilhaft sein, unter den Arten der gegenwärtigen Flora des mittleren

und südlichen Europas zwei Extreme ins Auge zu fassen, nämlich Arten, welche größere Temperaturschwankungen nicht nur ohne sichtbaren Schaden für den Organismus, sondern auch ohne eine Hemmung des Wachsthumsprocesses zu ertragen vermögen, und Arten, deren Ernährungssystem und Wachsthum durch größere Temperaturschwankungen beeinträchtigt wird. Zur ersten Kategorie gehören Pflanzen, deren Heimath in jenen Gegenden der Erde ist, wo im Laufe der täglichen und jährlichen Periode große Temperaturvariationen stattfinden. Es sind das vorzugsweise die Continentalmassen Russlands und des nördlichen Asiens. Natürlich zählen zu dieser Gruppe auch solche Arten, die seit Menschengedenken oder in vorgeschichtlicher Zeit aus diesen Ländern ins südliche und westliche Europa eingewandert sind. Die zweite Kategorie umfasst Arten mit geringem Accommodationsvermögen, nämlich Pflanzen aus den Mittelmeerländern, also Gegenden mit mehr insularem, Küsten- und Seeklima, aber auch gewisse Typen Mitteleuropas, die wir als Reste einer ehemals durch ganz Europa verbreiteten, der heutigen Mediterranflora analogen Vegetation ansehen müssen.

V. **Gegensätze der mittelländischen und nordischen Vegetation in Bezug auf ihre Existenzbedingungen.** Solche Typen treten oft unvermittelt neben den nordischen Arten auf. Mit beredten Worten schildert Th. Fuchs[1]) den Eindruck der Überraschung, welchen der Anblick der ersten mit immergrüner Strauchvegetation geschmückten Anhöhen auf ihn machte, nachdem er auf seinen Wanderungen durch Italien in allen Flyschregionen nur gewöhnliche mitteleuropäische Baum- und Straucharten gesehen hatte.

Es ist kaum anders als im Zusammenhange mit der Wärmeleitungs- und Strahlungsfähigkeit des Bodens möglich, solche Facta zu erklären. Wir müssen nämlich annehmen, dass für eine Species, die an Ort und Stelle aus einer früheren Erdperiode stammt, als die Temperaturminima daselbst die späteren Kältegrade der Eiszeit und mitunter auch der Gegenwart noch nicht erreichten, nur dort die Möglichkeit der Erhaltung vorhanden ist, wo die der Vegetation meist so schädliche Rauhigkeit der Luft im Winter durch den wärmenden und wenig strahlenden Boden gemildert wird, eine Bedingung, der das massige, zusammenhängende Gebirgsgestein viel besser entspricht, als die losen sandigen und erdigen Alluvionen, oder die Schichten- und Zersetzungsgebilde des Flysch. Im Gebirge, auf felsigem Boden überhaupt, wird daher der Pflanze, natürlich in den unteren Lagen, die Anpassung an minder günstige Verhältnisse der Lufttemperatur und andere nachtheilige, von der Atmosphäre abhängige Factoren des Klima wesentlich erleichtert, weil die tief im Felsgestein festsitzenden Wurzel-

1) Die Mediterranflora in ihrer Abhängigkeit von der Bodenunterlage. Sitzungsber. der k. k. Akademie d. Wissensch. in Wien, 1877, mathem.-naturw. Cl. I. Abth. Juli-Heft.

theile vor allzugroßer und plötzlicher Kälte geschützt sind, die in die Luft ragenden Theile aber kann die Pflanze, wenn sie erfroren sind, in den meisten Fällen im Frühjahr und Sommer wieder ersetzen.

Es wird natürlich vorzugsweise der Kalkfels geeignet sein, Typen der Mediterranflora zu beherbergen, wegen seiner Zerklüftung, indem die Wurzeln leicht durch die Fugen und Spalten des Gesteins in die Tiefe dringen können, was ihnen auch durch ihre kalklösende (bohrende) Eigenschaft erleichtert wird. Granit, Gneiß, Glimmerschiefer und Porphyr bieten der Pflanze zu wenig Spalten zum Bergen ihrer Wurzeln, darum haben auch diese Gebirgsarten viel weniger Felsenpflanzen. Dass aber auch solche Gebirgsarten unter günstigen Umständen eine Mittelmeervegetation tragen können, berichtet Fuchs (l. c. pag. 255): »Etwas schwieriger scheinen mir die Verhältnisse auf dem Plateau-Lande der Chalkidike zu sein. Dasselbe scheint, so viel mir bekannt, aus echtem Gneiß und Glimmerschiefer zu bestehen und Grisebach giebt an, dass hier keine Kalkeinlagerungen vorkommen und die Gebirgsformation des Hagios Oros verschieden und mehr derjenigen von Rumelien und Macedonien ähnlich sei. Trotzdem sind die Abhänge des Plateaus und die niederen Landstrecken am Meere ganz von immergrünen Sträuchern und den charakteristischen Krautpflanzen der Mediterranflora bedeckt, während auf dem Plateau selbst allerdings eine ganz mitteleuropäische Vegetation vorkommt. — Zwischen den Abhängen und der Plateaufläche selbst besteht, wie Grisebach hervorhebt, eine der schärfsten Vegetationsgrenzen, die man überhaupt kennt; denn während die ersteren ganz von dunkeln, immergrünen Büschen bedeckt sind, kommt auf dem Plateau selbst nicht ein einziges immergrünes Gewächs vor und Wald und Wiese haben ganz denselben mittel- und nordeuropäischen Charakter wie durch ganz Rumelien und Macedonien«. Und doch beträgt die Erhebung des Plateaus durchschnittlich nur 1200 Fuß, während die immergrünen Eichenwälder auf Athos doch bis 3000 Fuß ansteigen.

Auffallend ist ferner nach dem Berichte desselben Forschers (l. c.), dass La Marmora bei einer Schilderung der Vegetationsgürtel des Monte Gennargentu über der Zone von Quercus Robur, der Zone des Nussbaums und der Zone der Kastanie, zwischen 2700 und nahe 5000 Fuß (!), eine eigene Zone der immergrünen Bäume angiebt, in welcher Q. Ilex, Ilex Aquifolium, Pistacia Lentiscus, Arbutus Unedo und Erica corsica erscheinen. Fuchs vermuthet, dass La Marmora dort oben auf Kalkfels stieß. Jedenfalls haben wir es hier mit einer ähnlichen Umkehrung der Zonen zu thun wie am Berge Vipota bei Cilli. Wenn aber auf dem Plateau von Chalkidike die Vegetation den mittel- und nordeuropäischen Charakter trägt, an den Abhängen dagegen den der wirklichen Mittelmeerflora, so können wir fast mit Sicherheit sagen, dass am Plateau der Boden aus den pelitischen Zersetzungsproducten des Gneißes und

Glimmerschiefers besteht, während die Vegetation an den Abhängen auf nacktem Fels die Begünstigungen eines gut wärmeleitenden und wenig strahlenden Mediums genießt. Je mehr sich indessen das Florengebiet dem Äquator nähert, desto entbehrlicher werden der Vegetation ein und derselben Zone solche Begünstigungen. Schon an der Südküste des schwarzen Meeres können die Arten der 2. Zone auf den Flysch übertreten, denn, wie es sich aus Tschichatschefs Geologie von Kleinasien ergiebt, herrscht an der Küste vom Bosporus bis Sinope der Flysch vor, und da wachsen auf diesem Terrain doch: Quercus Cerris, Carpinus orientalis, Pyrus amygdaliformis, Paliurus aculeatus nebst mehreren anderen orientalischen Arten, die wir sonst nur auf Kalk zu sehen gewohnt sind.

Physiologisch erklärt sich dies dadurch, dass die mittlere Temperatur auf dem Flyschboden an der Nordküste Kleinasiens dem Optimum, d. h. derjenigen Temperatur, bei welcher sich solche Gewächse am besten entwickeln, viel näher steht als an der Nordküste des adriatischen Meeres, wesshalb die Temperaturschwankungen dort den Pflanzen weniger schaden als hier. Aus demselben Grunde werden auch die Vertreter der 4. Zone (Q. Ilex, Phyllirea, Myrtus, Viburnum Tinus, Rhamnus Alaternus u. a.) einige Grade südlicher, an der Südküste Anatoliens, in Syrien, auf Cypern oder Kreta auf dem Flysch ganz gut fortkommen. Allgemein sind Pflanzen aus irgend einer der wärmeren südeuropäischen Zonen an der nördlichen Grenze ihrer Verbreitung ausschließlich felsbewohnende (plantae saxatiles), an der südlichen Grenze auch sandiges und erdiges Terrain bewohnende Gewächse, und wo sie mit noch südlicheren Arten in Concurrenz treten, nur mehr auf letztere Bodenart beschränkt, um in einer höheren Bergregion wieder als Felsenpflanzen aufzutreten.

Zu diesen Resultaten führt uns auch schon die Betrachtung der Vegetationsverhältnisse der viel näher liegenden Insel Veglia, die von dem verewigten Herrn v. Tommasini in erschöpfender Ausführlichkeit dargelegt, ein sehr schätzenwerthes Material zu Vergleichungen und weiteren pflanzengeographischen Studien liefert[1]. Diese Insel ist nach ihrer geographischen Lage im Vergleich zur Küste von Duino und S. Giovanni im Allgemeinen etwas günstiger situirt, insofern als sie 8—12 geographische Meilen südlicher liegt als Duino, aber diese südlichere Lage macht sich keineswegs im Charakter der Vegetation in namhafter Weise bemerkbar, denn zwischen Duino und S. Giovanni, bei Sestiana und Nabresina kommen mehrere Mediterranpflanzen vor, die auf der Insel Veglia vergeblich gesucht werden, während wieder diese durch andere Arten der Mediterranflora vor jener Küste ausgezeichnet ist. Was aber vor Allem die meiste Beachtung verdient, ist die Wahrnehmung, dass, wenn auch die Haupt-

1) Sulla Vegetatione dell' isola di Veglia, Trieste 1875.

masse der Vegetation durchschnittlich der 2. Karstzone entspricht, gleichwohl auch viele Repräsentanten der unteren Bergregion daselbst angetroffen werden, insbesondere Q. pubescens, Ostrya, strauchige Ornus und Q. Cerris, aber weniger auf Kalkfels, als vielmehr auf weichem eocänem Terrain, in großer Menge z. B. an den Gehängen des Thales von Besca, bei Dobrinje u. a. O., während diese Gewächse in der unteren Steiermark auf die felsigsten Localitäten beschränkt sind. Im Thale von Besca kommt auf thonigem, feuchtem Untergrund sogar Fraxinus excelsior vor, obschon die Bergesche in den kühlen Alpenthälern, wo sie mit Fagus, Rhamnus carniolica Kerner, Rosa rubrifolia u. a. in anziehender Staffage die Vegetation der 5. Zone ausmacht, mehr heimisch ist. Dr. Marchesetti macht auf den auffallenden Gegensatz zwischen der Flora des felsigen Kalkbodens und des umgebenden Flysch bei Isola (2 Meilen sw. von Triest) aufmerksam und bemerkt, dass erstere mehrere daselbst ganz isolirte südliche Arten aufweist, letztere dagegen sich mehr aus gewöhnlichen mitteleuropäischen Arten zusammensetzt[1]).

Bei genauerer Betrachtung und gegenseitiger Vergleichung der Verbreitungsbezirke häufiger und seltener Pflanzenarten kann dem Beobachter die Wahrnehmung nicht entgehen, dass die meisten jener Arten, die einen beschränkten, oder vielfach unterbrochenen Verbreitungsbezirk haben und als Reste einer älteren, im Rückschritt begriffenen Vegetation angesehen werden können, Gebirgspflanzen sind, während die Ebenen und Thalmulden mit lockerem, sandigem und erdigem Untergrund, Schotterbänke, Kies- und Geröllhalden etc. in ganz Mittel- und Südeuropa allgemein theils von nordischen, theils von ubiquistischen, d. i. gemein oder weit verbreiteten Arten occupirt sind, also mit Typen, die insgesammt ein großes Anpassungsvermögen besitzen.

Von den zahlreichen Arten mit vereinzeltem, man könnte sagen versprengtem Vorkommen sind Taxus baccata, Buxus sempervirens, Cytisus radiatus, Ephedra distachya und helvetica nur die bekanntesten. Andere sporadische Gebirgspflanzen dieser Kategorie sind unter anderen: Centaurea alpina L., Scabiosa graminifolia L., Draba ciliata Scop., Hladnikia pastinacifolia Rchb., Pleurospermum Golaka Rchb., Paeonia corollina Retz, Campanula pyramidalis L., Iberis divaricata Tausch., sämmtlich charakteristische, wenn auch meist seltene Typen der nordliburischen Flora.

Es giebt allerdings auch sporadisch auftretende Sand- und Geröllpflanzen, allein von diesen stammen die meisten theils aus den Steppen des nördlichen Asiens, theils aus den Alpen, und nur von den wenigsten ließe sich behaupten, dass sie als Reste einer vorglacialen mitteleuropäi-

1) Particolarità della Flora d' Isola, Trieste 1880. Bollettino delle scienze naturali Nr. 4. Annata IV.

schen Flora von südlichem Charakter angehören, indem sie nachträglich durch Anpassung zum Ertragen großer Temperaturextreme, wie sie ein tiefreichender Sandboden bedingt, fähig gemacht worden wären. Sandiger Boden oder ein Untergrund von Schutt und losem Geschiebe ist zum Conserviren von Arten, die ein geringes Anspassungsvermögen besitzen, nicht geeignet. Viel besser schützt das Wasser die gegen Temperaturextreme und rasche Wärmeschwankungen empfindlichen, mit schwacher Accommodationsfähigkeit begabten Arten, vermöge seiner hohen Wärmecapacität und seines geringen Strahlungsvermögens, wesshalb wir unter den Wasserpflanzen manche im Erlöschen begriffene Art finden, die seit Jahrtausenden auf dem Aussterbeetat steht, so Trapa natans, Nuphar pumilum DC., Isoetes sp. u. a.

Die nordische Flora, deren Urheimath großentheils das nördliche Asien ist, dringt bekanntlich immer weiter gegen das südliche und westliche Europa vor. Als Heerstraßen dienen ihr die Flussläufe, Thalmulden und sonstige Niederungen. Alle früheren Insassen, die sich etwa aus der vorglacialen Zeit an Ort und Stelle erhalten haben, oder später aus Süden eingewandert sind, müssen früher oder später den nordischen Ankömmlingen das Feld räumen, denn diese sind mit einem größern Anpassungsvermögen ausgestattet als die Urbewohner, die einer früheren Pflanzenwelt angehören, einer Vegetation, die durch eine unermessliche Zeitperiode hindurch unter mehr gleichmäßigen klimatischen Verhältnissen gelebt hat. Denn das Gleichgewicht der in einem Organismus wirkenden Kräfte wird um so stabiler, je länger es besteht, und eine gewaltsame Änderung desselben durch andere ungewohnte Einflüsse muss um so leichter den Untergang des Organismus herbeiführen, je rascher und unvorbereiteter solche Einflüsse denselben treffen. Wandernde Arten erlangen, da sie fort und fort anderen physikalischen Agentien ausgesetzt sind, allmählich den höchsten Grad der Widerstandsfähigkeit gegen die übermäßige Kälte und Hitze, den ungünstigen Feuchtigkeitswechsel und noch viele andere nachtheilige Factoren des Klima, der Bodenart etc.

Welche Pflanze aus der heutigen Mittelmeerflora vermag es z. B. mit Calluna vulgaris aufzunehmen, die an sibirische Temperaturextreme gewöhnt, sich überall behaglich fühlt, in den Niederungen Norddeutschlands und Belgiens ebensogut wie auf den Triften Islands und Newfoundlands oder auf den Berghaiden der Azoren mitten im atlantischen Ocean, und die noch fort und fort neue Gebiete erobert? Ihre Begleiter sind die gleichfalls nordische Fichte, Waldföhre und Birke, von niederen Gewächsen Vaccinium Myrtillus und V. Vitis Idaea, Bärlapp, Hieracium umbellatum und boreale etc. und eine förmliche Legion von nordischen Moosen. Diese Pflanzen halten in dichten Beständen das Hügel- und Flachland der Tertiärbecken besetzt, wo der Boden aus zusammenhanglosen Materialien wie Schutt, Sand, Gerölle oder aus tuffartigen, thonigen

oder erdigen Zersetzungsproducten älterer Gesteine besteht, da ihnen andere Gewächse keine wirksame Concurrenz machen können. Fichtenwälder stehen nun dort und entlaubte Birken schütteln ihre herabhängenden Zweige im rauhen Nordostwinde, wo ehemals auf felsiger Halde der Zimmtbaum und die Myrte den Boden mit ihrem glänzenden Laube schmückten oder die rankende Smilax ihre kletternden Stengel um das immergrüne Eichenlaub schlang. Nun herrscht in den Auen der von den Alpen herabströmenden Gewässer die winterliche Grauerle (Alnus incana), wogegen dort in der vorglacialen Periode stolze Magnolien ihre großen Blüten in die Lüfte erhoben.

Nur im Gebirge vermag die ursprüngliche oder der ursprünglichen durch Descendenz nächst verwandte Vegetation sich theilweise zu behaupten, aber auch da nur auf einem Boden, der geeignet ist die Wurzeln vor zu empfindlicher Kälte und den empfindlichen Temperaturschwankungen zu schützen. Hier können sich die nordischen Eindringlinge nicht bequem ausbreiten, sie werden vielmehr auf jene Zone verwiesen, die ihrer rauhen klimatischen Verhältnisse wegen der Urvegetation und ihren Descendenten nicht passen.

Von vorglacialen Arten mochten sich nur wenige, und auch diese nur unter den günstigsten Umständen im beeisten Mitteleuropa an Ort und Stelle selbst erhalten haben; sicher ist die Urvegetation daselbst zur Eiszeit zum größten Theil erloschen und erst nach Ablauf dieser Periode konnten die vom Eise befreiten Gebirge durch die aus dem Süden eingewanderten gleichen oder ähnlichen Species besiedelt werden, während die Arten der am meisten widerstandsfähigen nordischen Flora von den Thälern dauernden Besitz nahmen, und noch gegenwärtig durch ihre Massenverbreitung die Acclimatisation der aus dem Süden stammenden Gewächse daselbst vereiteln.

Wie lehrreich sind in dieser Beziehung die Tertiärbecken am Saume der östlichen Südkalkalpen, nördlich von Udine, östlich von Görz u. a. O. Pflanzengeographen und Geologen finden hier reichlichen Stoff zum Nachdenken. Karst und Tertiärland haben eine gleichzeitige, auf dieselben geologischen Ereignisse zurückführbare Entstehungsgeschichte. So entstand hier durch Zersetzung von felsitischen und diabasischen Urgesteinen, welche das Substrat der mächtigen Kreidekalke bildeten, und durch Einschiebung der großentheils pelitischen Zersetzungsproducte zwischen die geborstenen Massen des Kreidekalks ein Gebirgssystem, das man mit dem Namen Flysch bezeichnet hat. Bei Görz zeigt es sich in sehr mächtiger Entwicklung, wo es als einförmiges, mit Quercus Robur und Q. pedunculata bestandenes Hügelland in jeder Beziehung einen grellen Contrast zur Karstlandschaft bildet.

Von den ungeschichteten Thon- und Lehmlagen abgesehen, die sich als erdige ockerbraune, etwas sandige Masse an der Beckenausfüllung bei

Görz betheiligen, setzt sich das eocäne Hügelland des Wippachthales aus drei Schichtelementen: Tassello, Thonmergel und Nummulitenkalk zusammen. Was den ersteren anbelangt, so ist derselbe stratigraphisch als ein Äquivalent des Wiener- und Karpathensandsteins zu betrachten, chemisch und mineralogisch aber gewissen, theils kernigen, theils tuffartigen Porphyr- und Diabasgesteinen sehr ähnlich, indem das Bindemittel der hornsteinartigen Körner, die seinen Hauptbestandtheil ausmachen, aus einer Verbindung von Kieselsäure, Thonerde, Kalk, Magnesia, Kali, Natron, Eisen- und Manganoxydul nebst etwas Kohlensäure besteht. Durch Verwitterung wird das ursprünglich bläulichgrüne Gestein ockerbraun und zeigt alsdann oft eine parallelepipedische Zerklüftung.

Der Thonmergel ist zunächst bläulichgrau, seltener grünlich, durch Verwitterung geht jedoch die Färbung in gelblichbraun oder bräunlichgrau über. Gewöhnlich wechselt er mit dem Tassello regelmäßig und tausendfach ab, so dass man das Profil eines größeren Schichtencomplexes schon von Weitem an den unzähligen Parallel-Linien erkennt. Hin und wieder schieben sich Nummulitenbänke dazwischen, die nicht immer geschichtet sind. Wo solche in ausgedehnteren Felsmassen zu Tage treten, sind sie von derselben Vegetation bedeckt wie der Karst selbst, wo er nicht zu öde ist. Auch die Pflanzenwelt des vorwiegend mergeligen Bodens zeigt große Ähnlichkeit mit der des Karstes, besonders wenn der Mergel kalkreich ist; dagegen trägt die Flora des Tassello und seiner lehmigen ockerbraunen Zersetzungsproducte ein ganz anderes Gepräge.

Als Hauptvertreter dieser Flora seien hier erwähnt: Q. Robur und pedunculata nebst Castanea vesca, alle drei sehr häufig und stellenweise dichte Waldbestände bildend. Auf dieses Terrain beschränkt, aber nicht so häufig sind: Alnus glutinosa, Juniperus communis, Populus alba und tremula, Pyrus Malus und P. communis (wild), Rhamnus Frangula, Rubus fruticosus, Salix cinerea, Sorbus torminalis, Viburnum Opulus. Accessorisch sind auch: Acer Pseudoplatanus, Betula alba, Carpinus Betulus, Fagus silvatica, Fraxinus Ornus. Am meisten charakteristisch sind jedoch die zahlreichen und weit ausgedehnteren Ericeta mit vorherrschender Calluna vulgaris, der fast überall reichliche Erica carnea beigemengt ist, nebst viel Pteris aquilina und hochstengligen steifen Hieracien aus der Sippschaft des H. umbellatum und boreale. Auch die Birke stellt sich daselbst häufig ein, dazu kommen ferner Vaccinium Myrtillus, Lycopodium clavatum und L. complanatum, Blechnum Spicant, Aspidium aculeatum nebst anderen häufigen Waldfarnen; außerdem gehören zur Flora des Tassello: Dianthus monspessulanus, Armeria und barbatus, Gentiana asclepiadea und Pneumonanthe, Orchis sambucina, Platanthera bifolia und chlorantha, Doronicum austriacum, Asarum europaeum,

Erythronium, Sanicula, Dentaria bulbifera, Cardamine trifolia, Orobus vernus, niger und tuberosus, Viola canina und Riviniana, Serratula tinctoria, Prenanthes purpurea, Molinia coerulea, Aira flexuosa, Calamagrostis silvatica, Luzula pilosa, Forsteri und albida var. cuprea, Hacquetia, Ranunculus auricomus und lanuginosus, Senecio Fuchsii, Euphrasia speciosa Kerner, Odontites Kochii Schulz, Campanula persicifolia, Aposeris, Anemone trifolia und nemorosa, Genista pilosa, tinctoria und germanica, Carex pilosa und silvatica, Gnaphalium dioicum, Hieracium Auricula, Pilosella und barbatum, Thesium montanum, Hypericum hirsutum, Laserpitium pruthenicum, Angelica silvestris, Listera ovata, Majanthemum, Convallaria majalis, Lysimachia punctata, Mentha Pulegium, Petasites albus und officinalis, Polygala amara, Potentilla alba, Galium verum und silvaticum, Melampyrum pratense, Spiraea Aruncus, Thalictrum aquilegifolium, Tussilago Farfara, Cytisus nigricans und capitatus Grab., Euphorbia dulcis, angulata und carniolica, Anthericum ramosum, Asperula cynanchica, Circaea lutetiana, Allium ochroleucum var. ericetorum, Hepatica, Pulmonaria angustifolia, styriaca und officinalis, Rosa gallica, Rubus glandulosus u. a. Seltener sind: Arnica, Actaea, Asperula taurina, Bupleurum tenuissimum, Cirsium eriophorum, Crepis incarnata, Epilobium Dodonaei, Gnaphalium silvaticum, Linum flavum und gallicum, Lythrum Hyssopifolia, Orchis speciosa, Panicum undulatifolium, Silene gallica, Veronica latifolia L. (nicht Koch). Fügt man noch einige sumpfliebende Arten hinzu, die den lehmigen Untergrund jedem anderen vorziehen, wie insbesondere Pilularia globulifera, Juncus- und Sirpus-Arten, so erhält man gegen 200 Species, welche den eigentlichen Kern der Tassello-Flora ausmachen. Von diesen Arten kommen 47 auch auf dem Karste vor, gehören aber als schattenliebende Humuspflanzen der oberen Berg- und Voralpenregion an, nur 7 werden dort oben auf freien sonnigen Triften angetroffen. Die übrigen Arten sind Sumpf- und Haidepflanzen, die größtentheils über das ganze mittlere und nördliche Europa verbreitet sind. Nicht einmal in sonnigster Lage beherbergt der Tassello, obschon seine Erhebung über dem Meere kaum 100 bis 200 Meter und seine Entfernung von der Küste (bei Görz) nur etwas über 2 Meilen beträgt, außer Ornus europaea irgend welche wildwachsende Arten der 3. oder einer noch wärmeren Zone. In südlicher Lage trifft man die genannten Eichen nebst Carpinus Betulus an, so wie auch mehrere Arten, die auf dem Karste der mittleren Bergregion eigen sind. In nördlicher Lage, besonders in den von Waldbächen durchflossenen Thal-

schluchten, begegnet man aber der Rothbuche und dem Bergahorn in Begleitung zahlreicher Arten der 5. und 6. Zone.

Seiner Halbnatur entsprechend hat der Mergelboden, in sonniger Lage, weniger Arten der 2. Zone als der felsige Kalkboden, und selbst diese wenigen finden sich nur an den allergünstigsten Localitäten, vereinzelt und selten, z. B. Rhus Cotinus, Cytisus argenteus, Euphrasia lutea. Dagegen sind die Repräsentanten der 3. Zone hier häufig, seltener Arten der 4. und noch viel seltener jene der 5. Zone, letztere nur in den nordseits gelegenen schattig kühlen Waldschluchten. Charakteristische Typen des Mergelbodens sind bei Görz: Andropogon Gryllus, A. Ischaemum, Polygala vulgaris, Cephalanthera pallens und ensifolia, Ophrys aranifera, Helianthemum vulgare und H. Fumana, Linum flavum und tenuifolium, Cynanchum Vincetoxicum, Erythraea Centaurium, Globularia Willkommii, Serapias longipetala, Lonicera Caprifolium, Linosyris vulgaris, Spiranthes autumnalis, Euphorbia verrucosa, Potentilla australis Kr., Onosma stellulatum u. a. Im Allgemeinen hält die Flora des Mergels die Mitte zwischen der des Tassello und der Karstflora. Wo Mergel und Tassello regelmäßig mit einander abwechseln, ist natürlich eine Scheidung der ihnen entsprechenden Floren unmöglich.

Mögen wir innerhalb des küstenländischen Karstes wo immer den so charakteristischen Gebilden des Flysch mit seinen sandigen und lehmigen Zersetzungsproducten begegnen, überall trägt derselbe, wo er nicht versumpft ist, an seiner meist hügeligen Oberfläche den Typus der Haide, da zusammenhängende Ericeta den größten Theil des Flächenraumes einnehmen. Wenn man die Flora des Tassello genauer betrachtet, so findet man sie meist aus sogen. kieselsteten und kieselholden Pflanzenarten zusammengesetzt. Ist es vielleicht doch der reichliche Kieselgehalt des Bodens, der diese Pflanzen an den Tassello fesselt? Man möchte es glauben, wenn man nur die Haidegestrüppe der Tertiärbecken vor Augen hätte, allein in der Fichten- und Krummholzregion der Kalk- und Dolomitalpen kommen bekanntlich ansehnliche Ericeta auf dem Schutt des Kalks und des Dolomits vor, also auf einem Substrat, das nur wenig oder sehr wenig Kieselsäure enthält, und wie üppig sind doch hier die Vaccinien und die beiden Eriken nebst den Lycopodien entwickelt! Da sind wieder Viola Riviniana, Aposeris foetida, Anemone trifolia, Scabiosa silvatica, Prenanthes purpurea und zahlreiche andere Begleiter der gemeinen Haidepflanzen.

Aber die Feuchtigkeitsverhältnisse! Ist es nicht der wasserbindenden Kraft des Thons, des Lehms und des Thonmergels, woraus der weiche Tertiärboden besteht, zuzuschreiben, wenn sich daselbst Erikengestrüpp in Gemeinschaft so vieler nordischer Species und so zahlreicher Arten der Gebirgswälder angesiedelt hat? Sicher sind solche Gewächse gegen die

größere oder geringere Feuchtigkeit der Luft und des Bodens nicht gleichgiltig. Erstere steht den Bewohnern der Fichten- und Krummholzregion der Alpen in reichlicherem Maße zu Gebote, als in den baumlosen Niederungen, letztere kommt dagegen dem Wasser haltenden Boden des Tertiärlandes in hinreichendem, ja bisweilen überschwänglichem Grade zu; muss aber das Vorkommen der echten Haidepflanze gerade durch den Feuchtigkeitsgrad bedingt sein, kann sich nicht die Wirkung einer größeren oder geringeren Feuchtigkeit vielmehr in der größeren oder geringeren Üppigkeit in der Entwicklung zeigen? Warum sollte eine sonst so zähe und ausdauernde Art wie Calluna vulgaris oder Vaccinium Myrtillus, die so große Temperaturextreme ohne Schaden zu ertragen vermag, nicht auch im trockenen und feuchten Boden fortkommen können? Die meisten Ericeta mit Birken, Fichten, Waldföhren, Vaccinien und Lycopodien nebst den übrigen sie begleitenden nordischen Arten finden sich über tiefgründigen Quarzgeschieben, die mit einem sandigen Lehm vermischt sind. Das giebt aber ein sehr dürres Terrain (von wenig wasserbindender Eigenschaft), auf dem zartere Pflanzen im Sommer, wenn sie nicht im Waldesschatten stehen, leicht durch Trockniss leiden.

Auf der Krainburger Ebene stehen längs der Save Ericeta auf einem Conglomeratfels von echtem Kalkstein und Dioritporphyr, und daselbst herrscht im Sommer derartige Dürre, dass im Juli und August 14 Tage nach einem ausgiebigen Regen alle niederen Gewächse verwelken. Hier macht Ornus europaea der geselligen Calluna Concurrenz. Wo aber der Untergrund das Wasser nicht durchlässt, bilden sich Sümpfe, welche bekanntlich echte Haidepflanzen meiden. Im ganzen zeigt die Haideflora eine hochgradige Widerstandsfähigkeit gegen die Trockniss des Bodens und der Luft, wenn ihr auch ein Wasser saugender Boden und eine feuchte Atmosphäre am meisten conveniren. Auf gar zu magerem und trockenem Terrain verkümmern solche Gewächse, dass man glauben möchte, sie müssten schon im nächsten Jahre verschwinden; aber sie besitzen dennoch eine unglaubliche Zähigkeit und Ausdauer, so dass sie durch Jahre und Jahrhunderte in geselligem Vorkommen auf weiten Flächen ihr kümmerliches Dasein fristen.

Anders verhalten sich die Arten der Mediterranflora auf ihren isolirten Standorten im Norden. Diese bilden vereinzelte, gleichsam versprengte Einschlüsse mitten in einer nordischen oder alpinen Vegetation, so z. B. Ostrya und Ornus bei Mojstrana am Eingange in das Urata-Thal am Fuße der nördlichsten Ausläufer des Triglav-Stockes, auf compactem Kalkfels; hier finden sich diese zwei Lignosen des südlichen Europa auf der Südseite eines niedrigen Felsenhügels in Gemeinschaft mit Campanula thyrsoidea, während die Nordseite des Hügels ein Ericetum mit Rhododendron, Arctostaphylos officinalis und Rubus saxatilis (zwischen massenhafter Erica carnea und Calluna) einnimmt. Auf

den Felsenhalden bei Feistritz in der Wochein an der Save kann man Satureja montana sehen, und an der aus compactem Triaskalk bestehenden sogen. Vitriolwand bei Raibl am östlichen Abhang des Königsberges von 900 bis 1100 Meter abs. Höhe hinauf Ostrya, nicht nur in kleinen, unansehnlichen Büschen, sondern auch in Baumform, ganz mit Fruchtzapfen behängt.

Ist es nicht beachtenswerth, dass hier diese dem südlichen Europa angehörige Lignose über einer aus wirklichen Alpinen bestehenden Vegetation vorkommt? Denn der Schutt unter den Galmeigruben ist mit Krummholz, Salix Jacquiniana, Armeria alpina, Alsine verna, Dianthus silvestris, Athamanta cretensis und Cetraria islandica bewachsen.

Drypis spinosa, eine entschieden zur Mediterranflora gehörige Art, wurde von Wulfen im Kankerthal (nördlich von Krainburg) am Fuße des Grintóuz auf felsigem Boden beobachtet. — Quercus pubescens ist nördlich von den Alpen, in Niederösterreich, Böhmen, Mähren nur als felsbewohnender Baum oder Strauch bekannt. Die Zahl ähnlicher Fälle ist eine beträchtliche, und jeder aufmerksame Beobachter der Pflanzenwelt wird leicht deren mehrere fast in jedem Florengebiete Mitteleuropas auffinden.

Wir können allerdings das Vorkommen dieser und anderer südeuropäischer Pflanzen auf so weit nach Norden vorgeschobenen Vorposten nicht sicher erklären, so lange uns nicht die ganze Geschichte der Vorzeit bekannt ist, denn das Erscheinen einer Pflanze an einer bestimmten entfernten Localität ist das Resultat mannigfacher, mitunter historischer Factoren, die von unserem beschränkten Standpunkte aus wohl als ebenso viele Möglichkeiten in Erwägung gezogen, nicht aber als definitive Ursachen festgestellt werden können. Ist z. B. die Satureja montana bei Feistritz an der Wocheiner Save als ein Rest der vorglacialen Vegetation, der sich an Ort und Stelle bis auf den heutigen Tag erhalten hat, zu betrachten, oder sollten wir annehmen, dass die Pflanze nach dem Rückzuge der Gletscher aus dem Küstenland in jenes isolirte Thalbecken der julischen Alpen eingewandert ist? Beides sind wohl denkbare Möglichkeiten, für beide Erklärungsweisen lassen sich triftige Gründe anführen, und beiden stehen auch Schwierigkeiten entgegen. Dass sich Pflanzensamen im Eise lange keimfähig erhalten, wird Niemand bezweifeln, dem es bekannt ist, wie sehr eine constante und niedrige Temperatur der chemischen Zersetzung organischer Körper entgegenwirkt, insbesondere, wenn diese gegen den Einfluss der atmosphärischen Luft geschützt sind. Aber auch die Erklärung durch Einwanderung hat ihre Berechtigung, da wir ja wissen, dass von Pflanzensamen lebende Vögel solche leicht auf bedeutende Entfernungen verschleppen können. Es wären hier insbesondere Ammern ins Auge zu fassen, da sich solche im Winter gern auf Steinhalden und Felstriften des Küstenlandes aufhalten, wo Satureja montana in Menge

vorkommt, im Frühjahr aber ins nördliche Gebirge ziehen. So ist es leicht möglich, dass einzelne Samen, welche die Vögel im Schnabel, im Kropf oder am Gefieder zufällig mitgenommen haben, mehrere Meilen weiter im Norden verstreut werden, wo sie noch in demselben Frühjahr keimen können; minder wahrscheinlich ist es dagegen, dass solche Samen, wenn sie schon durch den Darmkanal gegangen sind, noch keimfähig bleiben, da der Magen der körnerfressenden Vögel eine viel stärkere Verdauungskraft hat, als bei den Drosseln. Eine Beförderung der Samen durch Gewässer oder Winde ist aber geradezu nicht denkbar, weil die Wochein im Quellgebiete der Save liegt und vom Flussgebiete des Isonzo, der übrigens von Nord nach Süd fließt, durch eine mächtige (1800—2100 Meter hohe) Gebirgskette getrennt ist.

Leichter lässt sich die Frage mit Sicherheit beantworten: warum obige und andere Arten an jenen isolirten und soweit nordwärts exponirten Posten gegenwärtig gedeihen können, denn die Bedingungen der gegenwärtigen Existenz solcher Pflanzen sind an meist bekannte oder doch leichter bestimmbare Factoren gebunden, weil wir ja die Pflanze und ihren Boden vor uns haben und die Beziehungen beider zum Klima und zu den Artverwandten anderer Gegenden theils durch das Experiment, theils durch Beobachtung im Freien festzustellen im Stande sind. Ohne Zweifel erhalten sich Arten von geringerer Anpassungsfähigkeit dort am besten, wo die thermischen Verhältnisse des Bodens ihnen am günstigsten sind [1]). Worin besteht aber die Günstigkeit derselben? Etwa in einer größeren Wärmesumme, die überhaupt während des Jahres dem Vegetationsboden zu Theil wird, oder besteht sie in einer gleichmäßigeren Vertheilung der Wärme im Laufe des Jahres? Oder vielleicht in der milderen Natur der den Arten von geringerer Anpassungsfähigkeit schädlichen Temperaturextreme?

Um die Erhaltung zersprengter Arten von südeuropäischem Charakter mitten in einer alpinen oder nordischen Vegetation begreifen zu können, sind zunächst zweierlei Erwägungen nöthig: 1. Wie ist die Vegetation in jenen Gegenden der Erde beschaffen, wo eine ziemlich gleichmäßige Temperatur im Mittel von 12 bis 13° C. im Laufe des Jahres herrscht? 2. Wie ist die Pflanzenwelt in jenen Gegenden beschaffen, wo die mittlere Jahrestemperatur auch 12 bis 13° C. beträgt, aber mit bedeutenden Extremen? Über die erstere Frage entscheidet ein Blick auf die Pflanzenwelt von Tasmanien (Vandiemensland) und Neuseeland, deren Vegetation in höherer geographischer Breite auch bei dem sehr mäßigen Jahresmittel von 12—13° C. einen nahezu subtropischen Charakter beibehält, indem die Zahl der Arten immergrüner kräftig entwickelter Laubhölzer eine sehr beträchtliche ist. Bei Plymouth im südl. England überwintert die Myrte im Freien,

1) Man vgl. A. DE CANDOLLE: Sur les causes de l'inégale distribution des plantes rares dans la chaîne des Alpes (Actes du Congrès botanique international de Florence 1875).

obschon das Jahresmittel der Temperatur nur + 11·1° C., des Sommers nur 16° C. beträgt, aber es hat dort der Winter im Mittel + 7·2° C., also 1·1° mehr als Marseille. Im südlichen Ungarn (zwischen der Donau, Theiß und Marosch) werden dagegen, wiewohl das Jahresmittel des Flach- und Hügellandes 12 bis 13° C. beträgt, dennoch keine immergrünen Baum- und Straucharten der 1. Zone angetroffen, da hat aber der Winter nur + 1° bis + 2°, der Sommer allerdings 23° bis 25°.

Also nicht die mäßige Summe der Jahreswärme kann es sein, was die mediterranen Arten von den tertiären Thalbecken des südlichen Europa zwischen dem 45. und 48. Parallelgrade nördlich vom adriatischen Meere abhält und den nordischen Arten dort Eingang verschafft. Es ist evident, dass keine anderen Factoren als thermische Extreme so augenfällige Gegensätze herbeiführen können. Denn auch die gleichmäßigen und extremen Feuchtigkeitsverhältnisse sind selbst zunächst nur eine Folge der gleichmäßigen oder extremen Vertheilung der Wärme, da es die Wärme ist, die den Übergang des Wassers in Dunst bewirkt, die Dünste hebt etc.; durch Abkühlung werden die Dünste condensirt und als Thau, Regen, Schnee das Wasser der Erde zurückgegeben. Wir kommen also stets auf die Wärme als den ursprünglichen Motor zurück, mögen wir die oder jene Wirkung zum Ausgangspunkt nehmen.

Nun aber erübrigt uns noch zu untersuchen, welchen Antheil die von der Sonne kommende Wärme an der Erhaltung der Mediterranpflanzen und an der Verschiebung der verticalen Vegetationszonen nimmt. Die volle Tragweite des Einflusses, welchen die Insolation auf die Erhaltung südlicher Arten in den genannten geogr. Breiten ausübt, können wir natürlich nur da gründlich ermessen, wo eine directe Vergleichung der Vegetation der Nord- und Südseite eines Berges in Bezug auf die reine Wirkung der Sonne möglich ist. Hierzu ist vor Allem erforderlich, dass das Gestein auf beiden Seiten gleichartig sei und eine gleiche Wärmeleitungs- und Strahlungsfähigkeit habe. Ist die Nordseite, was meist der Fall zu sein pflegt, von großen, weit herabreichenden Schutthalden umgeben, die Südseite aber felsig, so ist ein solcher Vergleich illusorisch oder kann selbst zu einer unrichtigen Auffassung der beobachteten Erscheinungen führen. Ich will hier als ein naheliegendes Beispiel die Nordseite des Predil an der görzisch-kärntnischen Grenze mit der Südseite desselben in einen Vergleich stellen.

Das Raiblthal hat am nördlichen Fuße des Predil 900 Meter abs. Höhe, am Passübergange hat das Grenzgebirge 1150 Meter. Auf der kärntnischen Nordseite, so weit diese felsig ist, wächst niedriger Buchenwald (Fagus silv.) mit zerstreutem Rhododendron; wo sich aber von den Westabhängen der Ausläufer des Mangartstockes der Schutt in mächtigen Lagen um die Seite des Gebirges (bis 900 Meter herab) legt, bildet das Krummholz mit dem buschigen Rhododendron und Salix glabra ein dichtes

Gestrüpp, in welchem zahlreiche andere Alpinen der 7. Zone gedeihen, vor Allem Valeriana montana, Scabiosa lucida, Lycopodium Selago und L. annotinum, Selaginella spinulosa, Gentiana campestris, Polygonum viviparum, Alchemilla alpina, hin und wieder eine alpine Pedicularis, besonders aber Vaccinium Myrtillus und Vitis Idaea nebst Cetraria islandica. Auf den buschigen Triften und Halden finden wir bei 1000 bis ungefähr 1100 Meter Saxifraga aizoides, Senecio abrotanifolius, Carex sempervirens, Dryas, Thesium alpinum, Gentiana germanica, Avena argentea, Rumex scutatus, Gymnadenia odoratissima, Athamanta cretensis, Dianthus silvestris, Aquilegia Bauhinii Schott u. a. An Felsen im Bereiche dieses Schuttes: Phyteuma comosum, Bartsia, Viola biflora, Saxifraga caesia, Achillea Clavenae, Campanula Zoisii und pusilla, Arctostaphylos alpina, Globularia nudicaulis, Rhodothamnus Chamaecistus, Primula Auricula, Adenostyles alpina, Arabis pumila, Paederota Ageria und P. Bonarota, Sorbus Chamaemespilus u. a.

Auf der Südseite des Predil sind die Abhänge mehr felsig und tragen dennoch reichliches Krummholz, stellenweise bis circa 1050 Meter herab. Sonst bemerkt man daselbst noch zerstreute Kiefern, eine kurznadlige alpine Form der Pinus silvestris und Spuren eines ehemaligen Buchenwaldes (Fagus); die von der Baumvegetation entblößten Abhänge sind mit Cytisus radiatus und Juniperus communis, welch letzterer schon große Ähnlichkeit mit dem alpinen Zwergwachholder zeigt, bestanden; dazwischen sprosst die anmuthige Potentilla nitida, begleitet von Senecio abrotanifolius, der nicht vor den ersten Tagen des August zur Blüte gelangt; zwischen losem Gestein aber erblickt man Avena argentea, eines der zierlichsten Alpengräser, in Menge. Bei Oberpreth, etwa auf der Höhe von Raibl, gedeiht von Obstarten kaum der verwilderte Weichselbaum. Erst bei 800 Meter ungefähr sieht man beim Abwärtsgehen den Haselnuss-Strauch und endlich bei Mitterpreth, ungefähr 700 Meter über dem Meere, Ostrya vulgaris und Ornus europaea an den sonnigsten Felsen.

Man merkt hier deutlich, dass der Einfluss der Insolation die Vegetationszonen kaum um eine Stufe höher zu rücken vermag. Der Gegensatz der Pflanzenzonen auf der Nord- und Südseite des Predil bei 1000 Meter ist beiweitem nicht so stark als der Gegensatz der Vegetation der Schutthalden unter der »Vitriolwand« und jener der darüberliegenden Felsen von compactem (nicht dolomitischem) Triaskalk, denn hier folgt auf Krummholz, Salix Jacquiniana, Armeria alpina, Athamanta cretensis und Cetraria islandica nach oben unmittelbar eine im Ganzen der 5. Zone entsprechende Baum- und Strauchvegetation, die Schwarzbuche (Ostrya) selbst aber reicht bis 1100 Meter hinan.

Und überall im Gebiete der südlichen Alpen wiederholt sich diese Erscheinung, wo immer compacter Kalkfels neben dem Dolomit mit seinen zerklüfteten Felsmassen und zusammenhanglosen Zerbröckelungsproducten auftritt. Umkehrung der Zonen und Verschiebung derselben um zwei Stufen sind mit einem solchen Wechsel der Gesteinsunterlage auf das Engste verknüpft. Wie eigenthümlich, ja seltsam erscheint nicht jedem an den Anblick der in den Centralalpen heimischen Pflanzenwelt gewöhnten Naturforscher das Vorkommen von Papaver Burseri, Linaria alpina, Cerastium ovatum, Aquilegia Bauhinii, Arabis pumila, Leontopodium alpinum, Saxifraga aizoides, caesia und Burseriana, Silene acaulis etc. auf Sand- und Schotterbänken am Raibler See bei 900 Meter abs. Höhe, letztere 4 Arten nicht etwa nur in einzelnen zerstreuten Exemplaren, sondern stellenweise in ganzen zusammenhängenden Rasen und Polstern, in deren Mitte da und dort ein Sträuchlein von Juniperus nana den Eindruck einer Miniatur-Alpe vervollständigt. In den stets kühlen, feuchten Schluchten der gegen den See steil abfallenden Berge finden sich noch viele andere schöne Alpinen, wie insbesondere Viola biflora, Soldanella minima, Carex firma, Campanula Zoisii und C. pusilla, Paederota Bonarota, Phyteuma comosum u. a.

Der Dolomit ist vielen alpinen Arten auch in den tiefsten Positionen besonders hold, weil er durch seine Porosität die Feuchtigkeit der Luft einsaugt und verdichtet; aber auch durch das große Wärmestrahlungsvermögen wirkt er auf die Wasserdünste der Luft anziehend, denn sobald die Sonne aufgehört hat ihn zu erwärmen, kühlt er sich sehr rasch ab und wird über die Nacht bis zur nächsten Bestrahlung viel kälter als ein zusammenhängender Fels von geringerem Strahlungsvermögen; darum vermag er auch die Dünste der Luft viel reichlicher zu condensiren und als Feuchtigkeit in seinen Poren aufzunehmen als dieser. Nun aber muss, einem bekannten Naturgesetze zufolge, diese reichliche Feuchtigkeit den Tag über während der Insolation durch die Verdunstung eine fühlbare Depression der Temperatur bewirken. So erklärt sich die allen Besuchern der Thäler dolomitischer Gebirgsländer wohl bekannte Erscheinung, dass die Luft daselbst auch bei geringer Elevation im Sommer morgens und abends sehr feucht, des Tages aber selbst bei kräftigem Sonnenschein so angenehm kühl ist. Sind das nicht die rechten Bedingungen für das Vorkommen und Gedeihen der meisten Alpenpflanzen?

Als erster wesentlicher Motor wirkt hier vor Allem das große Strahlungsvermögen, als zweiter die Eigenschaft des porösen Dolomitgesteins, die Feuchtigkeit einzusaugen und in seinem Inneren zu verdichten, wodurch sie in den unteren Lagen in Folge der gewaltigen Pressung in Form von Quellen durch die Spalten des Gebirges wieder zu Tage tritt. Überhaupt ist der Dolomit in seinen Beziehungen zur Wärme, Feuchtig-

keit und Vegetation so eigenartig, dass er den Gegenstand einer allseitigen (monographischen) Erörterung bilden sollte. Es würde sich derjenige, der sich dieser dankbaren Untersuchung in dem angedeuteten Sinne unterziehen wollte, gewiss um die Pflanzengeographie und Physik der Erdrinde wohl verdient machen.

Ein nicht minder beachtenswerthes Depressionsgebiet als jenes des Raiblthals in Kärnten ist das schmale Thalbecken von Tribuscha am nordöstlichen Saume des Trnovaner Karstplateaus mit seinen gleichfalls dolomitischen Gehängen, kaum 4—5 Meilen von der Küste entfernt. Ein so kleiner Landstrich wie der bezeichnete Streifen von etwa 2 □Meilen möchte wohl kaum unsere Aufmerksamkeit verdienen, wenn derselbe in pflanzengeographischer Hinsicht nicht einen so lehrreichen Gegensatz zu dem benachbarten Karste bilden und die deprimirende Wirkung der dolomitischen Gesteinsunterlage auf die Zonenverhältnisse der Vegetation in eclatantester Weise documentiren würde.

Zunächst sind es 5 dominirende Arten, die uns an die charakteristische Dolomitvegetation von Raibl erinnern: Salix glabra und grandifolia, Rhododendron hirsutum, Cytisus radiatus und Asperula longiflora, alle fünf wesentliche Bestandtheile der nicht unansehnlichen Ericeta, die stellenweise die Nord- und Ostabhänge überziehen. Aber die tonangebende ist Primula carniolica, eine der schönsten dieses artenreichen Genus und nebst der nicht minder zierlichen Omphalodes verna für das Flussgebiet der Idria sehr bezeichnend. Aber auch die auf dem Golakberge gleichsam nur praecursorisch vorkommende Athamanta (Pleurospermum) Golaka ist auf diesem Terrain eigentlich recht heimisch, mit ihr Laserpitium peucedanoides, Gentiana lutea, Dianthus silvestris, Campanula Scheuchzeri, Euphrasia salisburgensis, Rubus saxatilis, Polygala Chamaebuxus, Viola pinnata, Allium ochroleucum, Convallaria majalis, Lilium carniolicum, Stachys subcrenata, Helleborus niger, Euphorbia amygdaloides, Carduus defloratus var. crassifolius, Biscutella laevigata, Bellidiastrum Michelii, Homogyne silvestris, Globularia cordifolia, Orchis globosa, Gymnadenia odoratissima, Leontodon incanus, Hieracium porrifolium, Veronica fruticulosa u. a. Unter den eigentlichen Felsenpflanzen verdienen besonders erwähnt zu werden: Saxifraga crustata, Kernera saxatilis, Athamanta Matthioli, Primula Auricula, venusta (P. Auricula × carniolica), Potentilla caulescens, Paederota Ageria, Erysimum Cheiranthus, Sesleria coerulea und besonders das zarte Heliosperma eriophorum Jur. nebst Asplenium Seelosii, welche beide nur auf felsigem Dolomittuff vorkommen. Aronia rotundifolia, Cotoneaster tomentosa, Rhamnus pumila und Daphne alpina sind häufige Felsen-

sträucher; sonst finden sich von Straucharten noch Rhamnus carniolica, Lonicera alpigena und nigra, Alnus incana und Salix incana, Cytisus alpinus, Spiraea ulmifolia. Außerordentlich häufig sind Valeriana saxatilis, Carex mucronata, tenuis und ferruginea, die allenthalben in zierlichen Büscheln aus den Spalten des weißen Dolomitgesteins hervorschauen; an feuchten Stellen erblicken wir Pinguicula alpina, Tofjeldia calyculata und noch häufiger Astrantia carniolica, in Felsschluchten aber, besonders in schattiger Lage, wächst Adenostyles alpina, Arabis alpina, Atragene alpina, Rhodothamnus Chamaecistus, Viola biflora, Soldanella minima, Carex firma. Letzteren drei Arten begegnet man nicht minder auch an kalten Quellen.

Wenn wir nun erwägen, dass beiweitem die Mehrzahl der angeführten Arten Vertreter der Voralpenregion sind, die letzteren vier aber nebst Rhododendron hirsutum, das in zusammenhängender Vegetation den Bergtriften an der Tribuscha förmlich ein alpines Ansehen verleiht, entschieden zur wirklichen Alpenzone gehören, so werden wir kein Bedenken tragen, den Vegetationscharakter des genannten Thalbeckens mit dem der oberen Fichtengrenze zu identificiren. Das Erscheinen so vieler alpiner und präalpiner Pflanzen verdient hier um so mehr die Beachtung des Pflanzengeographen als das Tribuschathal durch das 3 Meilen breite Becken von Tolmein und Kirchheim von der südlichen Wocheiner Alpenkette getrennt ist; die Niederungen und Höhen dieses Beckens tragen aber von Tolmein bis Kirchheim nur eine Gebirgsflora, die theils der 4., theils der 5. Zone angehört.

Weil nun die theils präalpine, theils wirklich alpine Flora der Triften an der Tribuscha ein Terrain occupirt, das sich nur 600—800 Meter über das Meer erhebt, so erfährt daselbst die obere Fichtengrenze im Vergleich zum Massiv der hohen Tauern eine Depression von ungefähr 700 Metern, d. h. die obere Fichtengrenze steigt hier nur halb so hoch als an den Gehängen des Großglockners und Großvenedigers, wobei auch die Lage gegen die Sonne entsprechend berücksichtigt erscheint, was aus folgender Zusammenstellung entnommen werden kann [1].

Die obere Grenze der Voralpenzone in der Gruppe des Großglockners.

	Maxima.	Minima.
Windisch-Matrei	1930 Meter.	1700 Meter.
Kals	2100 »	1700 »
Tauernthal	2130 »	1650 »
Fuschthal	1720 »	1400 »
Kapruner Thal	1900 »	1400 »
Stubachthal	2100 »	1650 »
Velbernthal	1920 »	1360 »
Hellersbachthal	1950 »	1450 »

1) Man vgl. »Quelques Observations sur la Flore alpine d' Europe«. Par M. Gaston Bonnier. Annales des Sciences naturelles, Tome X, Nr. 1. Paris 1880.

Die Thalgehänge von Fusch, Kaprun, Stubach, Velbern, Hellersbach, Habbach, die sämmtlich gegen Norden gelegen sind, haben als mittleres Maximum für die Erhebung der oberen Voralpengrenze 1960 Meter, als mittleres Minimum 1475 Meter. Dagegen geben die südlichen Thäler von Windisch-Matrei, Kals, Tauern, Moll, Gossnitz als mittleres Maximum 2049 Meter, als mittleres Minimum 1640 Meter. Die sonnige Lage bewirkt also nur eine Verschiebung von 89 bis 165 Metern in verticaler Richtung, während die localen Bodenverhältnisse, bei nördlicher Lage, der oberen Fichtengrenze einen Spielraum von 485 Meter und bei südlicher Lage von 409 Meter anweisen.

Man ersieht daraus, dass der Herabgang der Alpenvegetation an der Tribuscha nur zum geringsten Theil der nordseitigen Lage oder einer minderen Betheiligung der Insolation zugeschrieben werden kann. Ist schon der ganze Karst trotz seiner südlichen geographischen Lage und trotz seiner geringen Entfernung vom Meere ein Depressionsgebiet, so verdient diesen Namen um so mehr das Dolomitland, ob es nun 5 Meilen, wie bei Tribuscha, oder 10 Meilen, wie bei Raibl, vom adr. Meere entfernt ist, da es in beiden Fällen in Höhen von 600—800 Meter eine praealpine, in Höhen von 1000—1200 Meter eine entschieden alpine Vegetation beherbergt.

C. Abhängigkeit der Niederschläge und gewisser Lufterscheinungen von der Wärmeleitungs- und Strahlungsfähigkeit des Bodens.

Bekanntlich genügt, wenn die Luft mit Dünsten gesättigt ist, schon eine geringe Temperaturdifferenz um die Ansammlung des Thaues in größerer Menge an einer bestimmten Stelle zu bewirken; stellt man z. B. ein Glasgefäß, zur Hälfte mit Wasser gefüllt und gut verschlossen, ans Fenster, so beobachtet man darin reichliche Thaubildung, und zwar an derjenigen Seite der inneren Wand, wo die Temperatur niedriger ist, aber auch nur hier allein, und selbst wenn die gegenüberliegende Seite der Wand nur um $1/2°$ C. wärmer ist. Setzt man früh morgens im Sommer, wenn die Lufttemperatur nahe den Thaupunct erreicht hat, ein kleines Stück Eisen, ein Stück Marmor und ein Stück Holz, alle drei von gleicher Form, Größe und Temperatur und mit geschliffener Oberfläche der freien Luft aus, so setzt sich nach längerer Zeit auf dem Eisen der meiste Thau an, auf dem Marmor weniger und auf dem Holz gar kein Thau an, weil von den drei Körpern das Eisen durch Leitung und Strahlung (in einer gegebenen Zeit) die meiste Wärme abgiebt, daher den Thaupunct zuerst erreicht, während das Holz so wenig Wärme verliert, dass seine Temperatur kaum bis zum Thaupunkt herabsinkt. Bringt man alle drei Körper recht nahe zusammen und bedeckt sie, ebenfalls im Freien zur Zeit der Thaubildung, mit einem Blechsturze, so bildet sich der Thau nur am Eisen.

Ebenso findet man, wenn statt der genannten drei Körper gemeiner compacter Kalkspath und poröser Dolomit genommen werden, beide von gleicher Temperatur, Form und Größe, unter dem Blechsturze Thaubildung nur am Dolomit, weil dieser durch die stärkere Strahlung den Thaupunct zuerst erreicht und die Dünste unter dem Blechsturze an seiner Oberfläche condensirt, bevor die Temperatur des Kalkspathes bis zum Thaupuncte gesunken ist. Wo sich daher im Freien größere Massen von Dolomit in unmittelbarer Nähe von compactem Kalkfels vorfinden, muss dieser weniger Niederschläge dieser Art erhalten als der Dolomit. Die meisten Thauniederschläge werden diesen letzteren treffen und werden sich hier um so reichlicher ansetzen, je mehr Dünste die Luft im Bereiche der beiden Gebirgsarten enthält und je größer die Temperaturdifferenz derselben ist.

Dieses Gesetz beherrscht auch die Erscheinungen der Niederschläge im Großen. Wenn im October und November, zur Zeit wo in den langen kalten Nächten, besonders bei heiterem Himmel, der Boden sich stark abgekühlt hat, mit Dünsten gesättigte warme Lüfte aus dem Süden über die Gebirge heraufziehen, so muss naturgemäß dort ein reichlicherer Niederschlag entstehen, wo der Boden bei sehr geringer Leitungsfähigkeit für Wärme ein um so größeres Strahlungsvermögen besitzt. Nun ist aber dieses letztere natürlich dort größer, wo keine zusammenhängende Vegetation vorhanden ist, oder wo diese sogar gänzlich fehlt, so dass die Gesteinsoberfläche in unmittelbare Berührung mit dem Luftraum kommt. Ein zusammenhängender Rasen, Moospolster, das abgefallene Laub und der Wald selbst sind der ausgiebigste Schutz gegen den Wärmeverlust des Bodens und wirken ähnlich wie eine wollene Decke, die man um die Wärmflasche wickelt. So erklärt es sich leicht, warum der Rasen zwischen den Bäumen in Fichten- und Föhrenhainen, welche in freier Ebene stehen, wo das Gras schon nach den ersten Frösten des Novembers oder Decembers vergilbt und in allen oberirdischen Theilen abgestorben ist, dennoch, wenn der Winter nicht zu streng ist, grün und frisch bleibt und um so länger keine Spuren des Frostes zeigt, je tiefer die Äste der Bäume herabreichen.

Am wirksamsten erweist sich freilich eine wollene Decke oder eine tüchtige Lage von Baumlaub oder Stroh, weil solche Stoffe trotz ihrer enormen Oberfläche nur ein sehr geringes Strahlungsvermögen besitzen. Wenn der Gärtner einen Feigenbaum mit Stroh umhüllt, sobald sich die ersten Fröste des Herbstes einstellen, so schützt er denselben nicht so sehr dadurch, dass er ihn außer Berührung mit der kalten Luft seiner Umgebung setzt, denn durch Eindringen der Kälte aus dem Luftraum drohet dem Baume keine Gefahr, die trockene Luft hat ja eine bedeutende Wärmecapacität und vermag den mit ihr in Berührung kommenden Körpern von höherer Temperatur nur wenig Wärme durch Leitung zu entziehen, aber

die Wärmestrahlung wird durch die Umhüllung mit Stroh oder durch Bedeckung mit trockenem Laub beträchtlich vermindert. So können unter Umständen ganz überraschende Resultate erzielt werden, indem nämlich durch Bedeckung des freiliegenden sandigen Bodens mit einer dicken, wollenen Decke am Abend vor dem Eintritt großer Kälte eine Differenz von 12 bis 20° C. zwischen der Temperatur über und unter der Decke herbeigeführt werden kann.

Hier wirkt nicht nur der Wollenstoff an und für sich gegen den Wärmeverlust isolirend, sondern auch die in den Zwischenräumen des Stoffes eingeschlossene unbewegliche Luft, bekannt als sehr schlechter Leiter. Ähnlich verhält es sich natürlich auch mit trockener, locker aufgeschichteter Asche, in der sich bekanntlich die Feuerglut 20 Centimeter unter der Oberfläche mehrere Stunden hindurch erhält, obschon die letztere eine hochgradige Strahlungsfähigkeit besitzt. Es schreitet eben die Wärme nur sehr schwach aus dem Inneren des Aschenhaufens zur Oberfläche fort. Damit aber eine Schicht trockenen Sandes die gleiche isolirende Wirkung auf die Bodenfläche hervorbringe, muss sie viel mächtiger sein als 20 Centimeter[1]. Gewiss ist, dass 60 Centimeter tief unter einer trockenen Sandschichte die täglichen Variationen der Temperatur im Sommer nicht mehr verspürt werden und von der Wärme, welche überhaupt die Sonne im Laufe des Jahres spendet, merklich weniger bis zu dieser Tiefe gelangt als wenn der Boden felsig ist. Eine entsprechende isolirende Eigenschaft besitzt auch der Dolomit, allerdings in geringerem Grade als der Sand, aber es gelangt zu einem bestimmten Punkt im Dolomitgebirge, z. B. in einer Tiefe von 10 Meter, jedenfalls sowohl von der Sonne als auch aus dem Inneren der Erde weniger Wärme als in einem compacten Kalkgebirge, wesshalb dieser Punkt dort kälter sein wird, als hier in gleicher Tiefe, besonders wenn der Dolomit stark porös und reich an lufterfüllten Drusenräumen ist. Dort wird eine im Laufe des Jahres zwar constante aber niedrigere, hier eine etwas (um $^1/_4$—$^1/_2{}^{\circ}$) schwankende, aber merklich höhere Temperatur herrschen. An der Oberfläche wird der poröse, dolomitische Boden dagegen viel größere Temperaturextreme besitzen (als der compacte Felsboden, weil sich hier die Gegensätze wegen der besseren Leitung leichter und schneller ausgleichen) und solche müssen den Pflanzen, welche hochgradige Extreme und Wärmeschwankungen schlecht vertragen, die Ansiedelung auf derartigem Boden unmöglich machen, da die Keimwurzeln in einer Oberflächenschicht von so ungünstigen calorischen Eigenschaften nicht recht zur Entwicklung gelangen können.

Der Karst, aller zusammenhängenden und ausgiebigen Vegetation beraubt, entbehrt der schützenden Decke, welche die Wärmestrahlung

---

1) Man vgl. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, herausgegeben von Dr. E. Wollny, 1880. Physik des Bodens p. 348.

mäßigen sollte; weil er aber auch eine, wiewohl unebene Hochfläche ist oder vielmehr ein terrassenförmig gegliedertes System von hügeligen Hochflächen, so sammelt sich die kalte Luft im Spätherbst und Winter dort schichtenweise an, sie bildet einen förmlichen Luftsee, dessen Niveau mit zunehmender Kälte immer höher und höher steigt, so lange die aus der Thalebene aufsteigende warme Luft eine seitliche Verschiebung der kalten Luftmassen hindert. Endlich muss aber der Seitendruck der letzteren so mächtig werden, dass er die Barriere der warmen, nach aufwärts gerichteten Luftströmung durchbricht und sich mit furchtbarem Getöse als kalte Bergluft der Bora herabstürzt, einer Riesencascade ähnlich, leider nur zu häufig die schönen Thalfluren in wenigen Stunden zu verheeren[1]. Vom Isonzo bis zu den Gebirgen Albaniens wüthet die Bora alljährlich in den Wintermonaten, im Herbst und Frühjahr stellt sie sich zum Glück seltener ein, jedesmal nach anhaltendem Regen, weil der nasse Thalboden durch Verdunstung viel Wärme verliert und keine kräftigen warmen Luftströme geben kann.

Aber jene kalten auf den Hochflächen des Karstes lagernden Luftschichten müssen, sobald sie von südlichen dunsterfüllten Luftströmen bestrichen werden, einen sehr ausgiebigen Niederschlag bewirken. So erklären sich die fast tropischen Regengüsse, die sich zeitweise im Herbste und im Frühjahr über den Karstländern entladen und die nahezu unglaublichen Schneemassen, unter denen diese sonst trockenen Felsenlande im Winter begraben liegen, so dass viele an sehr rauhe Klimate gewöhnte Pflanzen hier in eine wirksame Concurrenz mit südlichen Arten treten können. Wir werden uns daher nicht wundern, wenn Alpengewächse wie Saxifraga crustata, Primula Auricula, Alsine verna, Allium ochroleucum, Dianthus silvestris, Cyclamen europaeum und manche andere ihren Verbreitungsbezirk bis ans adriatische Meer vorgeschoben haben. Allein dies enorme Quantum der Niederschläge — Adelsberg hat z. B. 160 Centimeter jährlicher Regenmenge — ist durchs Jahr so ungleichmäßig und ungünstig vertheilt, dass auf den Sommer nur sehr wenige Regen, ja bisweilen auf 3 Monate kaum 3 bis 4 ausgiebige Regentage kommen.

Die Dolomitlandschaften haben, weil sie keine plateau-artigen Flächenausbreitungen besitzen, auch keine Bora. Die kalte Luft fließt entgegen von den scharfen Kämmen und den zerrissenen Seiten der Gebirge in die Thäler herab und bewirkt, besonders in den schluchtenartigen Engthälern eine scharfe Strömung. Darum fehlen z. B. dem Isonzo-Thal mediterrane Pflanzenarten bis auf die öfter genannten Ostrya und Ornus nebst Satureja montana, die am Oberlauf des Flusses nordöstlich von Flitsch und

---

1) Man vergl. Österr. botan. Zeitschr. 1880: Vergleichende Übersicht der Vegetationsverhältnisse der Grafschaft Görz und Gradisca. Der Karst.

südlich vom Predil hin und wieder an besonders bevorzugten Stellen sporadisch noch auftreten, während das Thal bis Görz herab an Alpen- und Voralpenpflanzen so reich ist.

Mit den kalten Strömen der von den Dolomitgebirgen thalabwärts fließenden Luft stehen aber gewiss auch die so reichlichen Niederschläge der carnischen Alpen und der von Vegetation entblößten Raibler Gebirge in nächster ursächlicher Beziehung. Oder sollte es lediglich die Folge einer gewissen Richtung der südlichen Luftströme sein, wenn nach PRETTNER's Regenkarte für Kärnten[1]) gerade auf die südlichen dolomitischen Theile dieses Kronlandes die meisten und ausgiebigsten Niederschläge entfallen, während die viel höhere Urgebirgskette mit ihren stark bewaldeten Vorbergen und Thälern, den ausgebreiteten Wiesen und gut bewachsenen Triften im nördlichen Kärnten eine verhältnissmäßig so geringe Regenmenge aufzuweisen hat? Ist ferner die bedeutende Regenmenge in den Thälern der Kalk- und Dolomitalpen des Salzburgischen und das erstaunlich hohe Regenquantum bei Aussee eine ausschließliche Wirkung der feuchten West- und Nordwestwinde?

Auch diese Frage hat noch nicht ihre volle Erledigung gefunden, aber es ist schon jetzt, so viel wie gewiss, dass zu einer gründlichen Beantwortung derselben nicht nur die Windfahne und das Barometer, sondern auch die so überaus wichtigen localen bodenklimatischen Factoren, die sich schließlich auf die Wärmeleitungs- und Strahlungsverhältnisse des Bodens zurückführen lassen, sorgsam befragt werden müssen.

D. Die Einflüsse einer mehr westlichen oder mehr östlichen (continentalen) Lage sind für die Ausdehnung der verticalen Vegetationszonen bei weitem nicht so maßgebend, als die localen bodenklimatischen Factoren.

Bei stetigem Fortschreiten gegen Osten ändert sich bekanntlich der Florencharakter dergestalt, dass die Arten unserer Gegenden successive durch andere analoge, man könnte sagen äquivalente Formen ersetzt werden. Zu den meisten dominirenden Species einer bestimmten Zone findet sich im Osten eine correspondirende, wenn auch nicht immer gattungsverwandte Species der gleichnamigen klimatischen Region. Wie wenig jedoch die Elevation und Depression der Vegetationszonen von einer mehr westlichen oder mehr östlichen d. i. continentalen Lage abhängt, zeigt sich sehr deutlich an der Flora des Görzer und Krainer Karstgebietes, wenn man sie mit der des Banates in einen Vergleich stellt.

Ist es nicht beachtenswerth genug, wenn wir die Hauptrepräsentanten der 2. Karstzone auch im südlichen Banate (in Ungarn) auf den sonnigen Kalkfelsen längs der Donau und sonst an warmen gegen die Sonne expo-

1) Zeitschrift der österr. Gesellsch. für Meteorologie, 1873, Nr. 10.

nirten Localitäten daselbst, 80—87 Meilen östlich von Triest und nur 15—17 Meilen südlicher als Görz antreffen? Unter diesen Arten sind die maßgebendsten die Lignosen: Acer monspessulanum, Amygdalus communis (cultivirt), Carpinus orientalis, Celtis australis, Colutea, Fraxinus Ornus, Rhus Cotinus. Von niedrigen Gewächsen: Acanthus longifolius, Aegilops ovata, Aristolochia pallida, Artemisia camphorata, Astragalus Wulfenii, Bupleurum junceum, Calamintha patavina, Convolvulus tenuissimus und C. Cantabrica, Crocus variegatus, Crupina vulgaris, Cynosurus echinatus, Cyperus Monti, Dictamnus, Euphorbia Chamaesyce und E. Myrsinites, Galium purpureum, Inula squarrosa, Kentrophyllum lanatum, Lathyrus latifolius, sphaericus und setifolius, Medicago orbicularis, Gerardi, prostrata, Melissa, Molinia serotina, Narcissus radiiflorus, Onobrychis arenaria, Ononis Columnae, Orchis papilionacea, Orlaya grandiflora, Orobus variegatus, Plantago Victorialis, Polygonum Bellardi, Poterium polygamum, Pterotheca nemausensis, Ruscus aculeatus, Ruta patavina, Silene italica, Smyrnium perfoliatum, Sorghum halepense, Tragus, Tribulus, Trifolium angulatum, striatum, resupinatum, subterraneum, suffocatum, Trigonella monspeliaca, Xeranthemum cylindraceum[1]).

Dr. v. Borbás führt an, dass die Vegetationsverhältnisse im Szörényer und Krassóer Comitate im südlichen Ungarn dem Fortkommen von Pflanzen der Mediterranflora sehr günstig sind. Viele südliche Bäume, namentlich Celtis australis, Acer monspessulanum, Carpinus orientalis, Tilia alba, Quercus conferta, Sorbus graeca und Syringa vulgaris kommen hier wild vor, die Wallnuss und Corylus Colurna bilden Wälder und die Quercus-Arten variiren in den interessantesten Formen.

Unter den genannten sind 63 Arten, ohne diejenigen zu zählen, welche dasselbe Wärmebedürfniss haben wie die angeführten, aber der illyrischen Küste und den angrenzenden Landstrichen fehlend, blos im östlichen Mittelmeerbecken vertreten erscheinen. Da die Territorien der Flora dieser Zone bei Görz, Monfalcone, Jamiano, Brestoviza und Triest nur 10—17 Meilen nördlicher liegen und diese nördlichere Lage durch die Nähe des Meeres mehr als compensirt wird, so bleibt für die Flora des südlichen Banates nichts, was auf Rechnung seiner östlichen continentalen Lage gesetzt werden könnte, obschon es vom adriatischen Meere 52, vom schwarzen Meere volle 60 Meilen entfernt ist.

Zu einem gleichen Resultate gelangt man bei der Vergleichung der drei oberen Karstzonen mit den entsprechenden Regionen der Karpaten. Wie auf dem hohen Karste kommt auf dem Klakberge südlich vom Tatra-

1) Enumeratio plantarum in Banato Temesiensi sponte crescentium etc., von Dr. J. Heuffel. Verhandl. der k. k. zoolog.-botan. Gesellsch. in Wien, 1858.

gebirge Fagus silvatica nur bis 950 oder 1000 Meter in dichten Waldbeständen vor, sie ist aber bereits hier mit der Fichte gemischt. Bei 1270 Meter findet man nur mehr verkrüppelte Buchenbäume. In 1360 Meter Höhe wächst auf der Nordseite bereits das Krummholz, aber in Gemeinschaft mit der Fichte. Die eigentliche Krummholzregion beginnt in der Tatra selbst bei 1420—1520 Meter. Von 1650 Meter an giebt es nur mehr felsige Alpentriften mit hochalpinen Arten. Die meisten für die obere Bergregion, die Fichten- und Krummholzregion des Görzer und Krainer Karstes charakteristischen Species finden sich auch im Fatra- und dem etwas nördlicheren Tatragebirge in denselben Zonen und in gleichen Höhen wie dort, so dass die Übereinstimmung der beiden Gebirgsfloren für gleiche Niveaus eine geradezu vollständige genannt werden kann[1]. Und doch liegt jenes Gebirge an der Wasserscheide zwischen der Weichsel und der Donau 42—47 Meilen nördlicher als Görz und 60 Meilen östlicher als dieses, während die geogr. Längendifferenz zwischen Görz und dem Kernstock der Alpen (dem Rhône-Gletscher in der Schweiz) auch 60 Meilen beträgt.

Nordwestlich von der Gebirgsgruppe der Tatra, an der galizisch-ungarischen Grenze, liegt im Quellgebiete der Arva die großentheils aus Karpathensandstein bestehende Babia Gora, welche ebenfalls die Wasserscheide zwischen der Donau und der Weichsel bildet. Ihr höchster Gipfel hat circa 1770 Meter abs. Höhe und liegt unter 49° 30′ nördl. Breite und 37° 15′ östl. Länge. Der kahle Gipfel ist von düsteren Urwäldern von Nadelholz umgeben, derselbe erhebt sich nur wenig über diesen Vegetationsgürtel. In einer absol. Höhe, welche der Voralpenregion des Karstes entspricht, findet man im Walde durchaus nur Arten der 5. und 6. Zone. Gegen die obere Waldgrenze hin stellen sich Geum montanum und Soldanella alpina ein, die mit dem Beginn der Krummholzregion in bedeutender Menge vorhanden sind. Im Ganzen ist jedoch diese Region an Arten außerordentlich arm, und erst wenn man bald nach dem Auftreten von Juniperus nana die oberste lichte Krummholzregion und damit den buschlosen steinigen Gipfel der Babia Gora erreicht hat, gewährt die Vegetation wieder ein abwechselungsreicheres Bild. Hier gedeihen zwischen den Felstrümmern die meisten wirklichen Repräsentanten der 7. Zone, wie Rhodiola rosea, Anemone alpina und narcissiflora, Potentilla aurea, Gnaphalium supinum, Saxifraga Aizoon etc. nebst ungeheueren Mengen von Cetraria islandica[2]. Nächst der Babia Gora ist der Pilsko an der ungarisch-galizischen Grenze der höchste Berggipfel in der weiten Umgebung, aber er erreicht mit seinem kahlen, von Krummholz umsäumten Rücken eben kaum die 7. Zone, bei 1600 Meter.

---

1) Man vgl. Karpaten-Reise von R. Fritze und Dr. H. Ilse. Verhandl. der k. k. zoolog.-botan. Gesellsch. in Wien, 1870.

2) Österr. bot. Zeitschr. 1879: Ein Ausflug auf die Babia Gora, von Dr. A. Peter.

Nun aber werfen wir vergleichsweise einen Blick auf die Vegetation des Monte Matajur. Dieser bildet auf der westlichen Seite des Isonzo, kaum 6 Meilen vom adriatischen Meere entfernt, ein karstartiges Hochplateau, über dessen Fläche die österreichisch-italienische Reichsgrenze zieht. Von einer Flächenausdehnung von circa $^1/_7$ oder $^1/_8$ □Meile, erhebt sich dieses Plateau im Mittel etwa 1500 Meter über das Niveau des Meeres; der höchste Punkt liegt am Westrand, 46° 12′ nördl. Breite und 31° 10′ östl. Länge, seine abs. Höhe beträgt 1635 Meter. Die Flora dieses interessanten, von H. v. Tommasini mehrmals (vom Verfasser einmal) besuchten Berges zählt folgende charakteristische alpine Arten, die eine directe oder indirecte Vergleichung mit der Flora der Babia Gora gestatten: Aconitum Napellus, Ranunculus Traunfellneri, Anemone alpina und narcissiflora, Viola biflora, Silene quadrifida, Hedysarum obscurum, Alchemilla alpina, Epilobium origanifolium, Sedum atratum, Rhodiola rosea, Saxifraga caesia, aizoides, Aizoon, crustata, tenella, Astrantia alpina, Homogyne alpina, Erigeron alpinus, Gnaphalium supinum und Leontopodium, Achillea Clavenae, Senecio abrotanifolius, Saussurea discolor, Crepis aurea, Hieracium villosum, Scrophularia Hoppii, Veronica aphylla, Bartsia alpina, Pedicularis Jacquini, Soldanella alpina, Rumex alpinus, Polygonum viviparum, Salix retusa, Jacquiniana, glabra und arbuscula, Nigritella angustifolia, Gymnadenia albida, Juncus Hostii, Poa alpina und minor, Festuca varia, Carex tenuis, capillaris und sempervirens, Selaginella spinulosa und Cetraria islandica (letztere stellenweise sehr häufig), mithin eine beträchtliche Menge von wirklich alpinen Arten, ohne diejenigen zu zählen, welche außer der 7. auch noch die 6. Zone bewohnen und häufig in den Alpenthälern angetroffen werden, wie z. B. Alnus viridis, Rosa alpina, Bellidiastrum Michelii, Arabis alpina etc. Und doch hat der höchste Punkt des M. Matajur 135 Meter weniger an Höhe als der höchste Punkt der Babia Gora, welch letztere übrigens mehr als $3^1/_4$ Breitengrade nördlicher und volle 6 Längengrade östlicher liegt als jener küstenländische Berg. Die Vegetation der höchst gelegenen Triften der Babia Gora entspricht durchaus derselben Zone wie jene der höchsten Karsttriften des M. Matajur, aber letztere erfährt eine Depression von 135 Meter im Vergleich gegen die erstere, was sich nur aus den für den Karst überhaupt angegebenen deprimirenden bodenklimatischen Ursachen erklärt[1]).

Bei nur 1550 Meter abs. Höhe besitzen die obersten Triften der Trispitza (auch Golakberg genannt, 5 Meilen nördlich von Triest) schon eine

1) Man vergl. Österr. botan. Zeitschrift: Eine Excursion in die Gebirge von Tolmein und Karfreit, 1867. — Ebendaselbst Jahrg. 1880, p. 244—246.

entschiedene Alpenvegetation mit massenhaftem Krummholz, Rhododendron und Zwergwachholder; der Pilsko in den westlichen Karpathen hat aber, obschon etwas höher, in seinem Gestrüpp von Krummholz auch nur Repräsentanten der 7. Zone, insbesondere Vaccinien, die übrigens auch der Fichtenregion angehören, Homogyne alpina, Aconitum Napellus, Juncus filiformis und alpinus nebst viel Cetraria islandica. Die Depression dieser Zone im Trnovaner Gebirge bei Görz im Vergleich zum Pilsko ist zwar nicht erheblich, ja kaum merklich, denn hier wie dort finden wir die Krummholzregion in ziemlich gleicher Höhe über dem Meere, aber man möchte doch der geographischen Lage zufolge diese Zone in den Karpathen viel tiefer vermuthen.

So zeigt sich also die Pflanzenwelt innerhalb der gemäßigten Horizontalzone Europas viel mehr von dem thermischen Verhalten des Bodens und seiner Unterlage als von klimatischen Einflüssen, die nicht localer Natur sind, abhängig, und wollen wir die Bedingungen ihrer gegenwärtigen Verbreitung nach Verticalzonen kennen, so müssen wir vor allem unser Augenmerk richten: 1) auf die Wärmeleitungsfähigkeit jener mineralischen Massen, welche den Untergrund des Bodens bilden, 2) auf die Beschaffenheit der Wärme strahlenden Oberfläche und 3) auf das Verhältniss zwischen dem Wärmezufluss aus dem Inneren der Erde und der Wärmestrahlung an der Oberfläche. Von diesen constanten physikalischen Momenten und von der wechselnden Wirkung der Sonne sind jene unserer directen Beobachtung zugänglichen meteorologisch-klimatischen Agentien abhängig, denen wir — auch schon bei oberflächlicher Beurtheilung — die gegenwärtige Verbreitung der Pflanzenwelt zuzuschreiben pflegen, wenn wir uns auch nicht immer genau darüber Rechenschaft geben können, wie deren Wirkung auf die Pflanze vermittelt wird.

Thurmann hat zuerst die hohe Bedeutung der physikalischen Beschaffenheit des Bodens für die Verbreitung der Pflanzen erkannt, da ihm nicht entgangen ist, dass Wärme und Feuchtigkeit je nach der Art und dem Grade der mechanischen Zersetzung des Substrats auf die Pflanze verschieden und auf die mannigfaltigste Art einwirken. Dadurch musste natürlich der bis dahin einseitig in den Vordergrund geschobene Einfluss der chemischen Bestandtheile zurücktreten[1]). Kalk- und Kieselpflanzen bleiben nach Thurmann desshalb hartnäckig auf ihrem entsprechenden Untergrund, weil die Kieselverbindungen ein tiefes, feuchtes und lockeres, der Kalk ein trockenes, seichtes und mageres Erdreich liefern. Im Allge-

1) Essai de phytostatique appliquée à la chaîne du Jura et aux contrées voisines etc. Bern 1849. — De la marche à suivre dans l'étude de la dispersion des espèces veget. rélativement aux roches sousjacentes, 1853. Actes de la Soc. Helvetique des sc. nat. 38. sess., Porentruy; p. 169.

meinen entspricht die mechanische Verwitterung eines Gesteins der mineralogischen Zusammensetzung desselben, indess kann auch dasselbe Gestein einmal compact und dann zerbrechlich und sehr verwittert vorkommen, und in diesem Falle sehen wir, dass compacte Kieselfelsen eine sogen. Kalkflora besitzen, während verwitterte, sandige Kalkfelsen Arten zeigen, die man sonst als kieselliebende Pflanzen auffasst. Wenn Contejean[1]), ein ehemaliger Anhänger Thurmann's, auf gewisse allerdings unleugbare Thatsachen gestützt, dem gegenüber behauptet, dass der chemische Einfluss des Substrats wichtiger ist als der physikalische, weil die Mehrzahl der Pflanzen das Chlornatrium nicht verträgt, viele Arten den Kalk meiden, die Grenze zwischen Kalk- und Kieselflora hin und wieder scharf ausgeprägt ist etc., so geht er entschieden zu weit, denn eine repulsive Wirkung haben ja die meisten Stoffe, welche der Pflanze nicht zur Nahrung dienen, wir könnten in diesem Sinne weiter schließend auch sagen: die Pflanzenwelt ist durch das Nichtvorhandensein von Kupfer, Arsenik, Schwefelsäure etc. bedingt, weil die Pflanzen überall zu Grunde gehen, wo sich Lösungen dieser Stoffe in namhafter Menge im Boden vorfinden.

Es wird ja niemand in Abrede stellen, dass gewisse Arten, um zu gedeihen, einer Kalkunterlage, andere eines Silicatsubstrates bedürfen, ja dass ihnen ein solches unumgänglich nothwendig ist. So dürfte es z. B. kaum jemanden gelingen Saxifraga crustata anderswo als auf Kalkfelsen anzutreffen, und eine Cultur dieser Species auf einer anderen Unterlage wird höchst wahrscheinlich misslingen. Gerade so giebt es mehrerlei Moose, namentlich Hypnum commutatum, Funaria calcarea, Gymnostomum calcareum etc. und viele Flechten, die ausschließlich auf Kalkfelsen angewiesen sind. Andere konnten schon in der Vorzeit, wie auch jetzt von Silicatfelsen auf Kalkfelsen, oder umgekehrt, übersiedeln, wie z. B. Polypodium Dryopteris, oder vom Silicatfels auf Dolomitfels, wie Asplenium septentrionale, und sich dem neuen Substrat anpassen, was aber nicht ohne eine entsprechende Abänderung der Form geschah; so ist aus P. Dryopteris P. Robertianum, aus A. septentrionale A. Seelosii entstanden, zwei unverkennbare Parallelformen des Substrats. Noch größer ist die Zahl der Parallelformen, die sich auf die Wirkungen der chemischen Beschaffenheit der Unterlage zurückführen lassen, unter den Phanerogamen. Mehrere Arten verlangen eine verhältnissmäßig beträchtliche Menge Chlornatrium, so Salicornia herbacea, Lepigonum maritimum, andere können sich auch mit geringeren Mengen dieses Salzes begnügen, z. B. Aster Tripolium,

---

1) Ch. Contejean, De l'influence du terrain sur la végétation. (Premiere partie, Ann. sc. nat. V. Sér. Botanique, Tome XX, 1874, p. 266—304. — Seconde partie ibid. VI. Sér. Tome II, 1875, p. 222—307). — Geographie botanique. De l'infl. du terrain sur la veget. Paris 1881.

Plantago maritima, Salsola Kali, wieder andere vermögen sich sogar, wiewohl sie in der Regel als Halophyten in der Nähe des Meeres und auf salzhaltigem Boden überhaupt angetroffen werden, nach und nach auf salzfreiem Boden einzubürgern, wie Samolus Valerandi, Taraxacum palustre, Tetragonolobus siliquosus, Scirpus maritimus, Triticum glaucum u. a. Auch hier erfährt die Pflanze, indem sie sich anderen Bodenverhältnissen anpasst, meist eine mehr oder minder bemerkbare Änderung in der Form.

Eine dritte Kategorie kann mit dem Namen Ammoniakpflanzen bezeichnet werden. Solche sind in ihrem Vorkommen durch das Vorhandensein oder Fehlen des Ammoniaks bedingt, und man kann nicht begreifen, wie Contejean auf diese Pflanzen ein so geringes Gewicht legen mochte. Oder bilden nicht die Chenopodium-, Atriplex-, Lamium- und Urtica-Arten, Parietaria, Mercurialis annua, Portulaca oleracea, Euphorbia Peplus und helioscopia, Ballota nigra, Poa annua, Echinochloa Crus galli, Verbena officinalis, Plantago major, Polygonum aviculare etc. etc. einen respectablen Antheil der Phanerogamenflora? Dagegen haben Kalk, Chlornatrium und Ammoniak eine repulsive Kraft für sehr viele Arten; vom Chlornatrium kann man geradezu sagen, dass es, in größerer Menge im Boden enthalten, viel mehr Arten abstoße und fernhalte, als es deren anziehe und festhalte. Torfmoose werden durch kalkreiches Wasser getödtet, viele andere, wie namentlich Hedwigia ciliata, Racomitrium canescens, Polytricha etc. können ebenfalls den Kalk nicht vertragen, ebenso wie gewisse Flechten. Auch unter den Gefäßkryptogamen ist die Zahl der kalkfliehenden Arten nicht unbedeutend, aber Extreme sind hier seltener und in den meisten Fällen, wo die Pflanze keine Kalkfreundin ist, genügt schon eine dünne Erdschicht oder Humuslage unter derselben, um die schädliche Wirkung einer directen Berührung mit der Kalkunterlage aufzuheben oder wenigstens sehr abzuschwächen.

Absolut tödtlich sind concentrirte Lösungen von ammoniakalischen Stoffen, z. B. Mistjauche, nur für wenige Arten, vor Allem Eriken, Wald- und Wiesenmoose der Gattung Hypnum, wogegen die meisten Pflanzen wenigstens eine ammoniakalische Atmosphäre gut vertragen; unstreitig ist die Accommodationsfähigkeit der meisten gegen solche salzige Bestandtheile des Bodens sehr bedeutend.

Wenn sich dennoch der Kalk, das Chlornatrium und Ammoniak in den meisten Fällen theils an der Vertheilung der Arten, theils an der Physiognomie der einzelnen Pflanzen verrathen, so ist gleichwohl die Behauptung Contejeans, dass der chemische Einfluss des Bodens wichtiger sei, als der physikalische, noch weit davon entfernt der Ausdruck eines wirklichen Factums zu sein; denn abgesehen davon, dass die Mehrzahl der Arten in jedem gemischten Boden die für das Gedeihen nothwendigen Bodenbestandtheile

vorfindet, treffen wir viele Arten, die wir früher nur als ausschließliche Kalkpflanzen kannten, unter anderen Concurrenzverhältnissen in einer entfernteren Gegend auf Kieselboden, Kieselpflanzen dagegen anderswo auf Kalk. Dass »fast immer«, wie CONTEJEAN meint, der Gegensatz zwischen den Floren der beiden Bodenformationen ein schroffer ist, wo Kalkfels an kalkfreies Gestein grenzt, beweist nicht, dass dieselben Pflanzen bei gleichen Bodenverhältnissen überall diesen Gegensatz einhalten. Keine einzige Art zeigt sich gegen die physikalischen Einflüsse des Bodens indifferent, wogegen wir eine Unzahl von Arten kennen, denen es gleichgiltig ist, ob der Boden viel oder wenig Kalk, viel oder wenig Kiesel, viel oder wenig Chlornatrium, viel oder wenig Thonerde, viel oder wenig Magnesia etc. enthält, sobald nur derselbe den richtigen Feuchtigkeitsgrad, das richtige Wasseraufsaugungs-, Wärmeleitungs- und Strahlungsvermögen, die erforderliche Absorptionsfähigkeit für Wasserdunst, Ammoniak und Kohlensäure besitzt, gegen die Sonne entsprechend exponirt ist und die Nachbarschaft der Mitbewerber ihnen keine Beschränkung auferlegt.

Der Zustand der mechanischen Zersetzung des Bodens kann das Pflanzenleben auf vielerlei Art beeinflussen: er bedingt die thermische und hygroskopische Eigenschaft desselben, von der die rasche oder langsame Aufnahme und Abgabe der Wärme, die Zuführung der Feuchtigkeit und der löslichen Nahrungsbestandtheile, die Art und der Grad der Ausbildung, Befestigung und Ausbreitung des Wurzelsystems abhängt und wirkt selbst auf die Keimung der Samen fördernd oder erschwerend, je nachdem der Boden dieselben durch seine Unebenheiten leicht birgt und festhält, oder sie dem Winde und den Thieren preisgiebt, sie gleich in seinen Schoos aufnimmt, um ihnen sofort weiches und hinreichend feuchtes Erdreich zu bieten, oder sie auf hartem Grund nach begonnener Keimung absterben lässt. In Bezug auf die physische Beschaffenheit der Unterlage wird sich eine Pflanze stets sehr wählerisch zeigen, wenn ihr auch in allen Fällen der verlangte Bodenbestandtheil in ausgiebiger Menge zu Gebote steht: Asplenium septentrionale ist allerdings eine Kieselpflanze, aber sie kommt nur auf Felsen vor, Biscutella laevigata und Aethionema saxatile sind Kalkpflanzen, aber sie gedeihen gut nur auf dem Gerölle und Gebirgsschutt, Saxifraga crustata ist eine exclusive Kalkpflanze, verlangt aber compacten Kalkfels, Kalksand genügt ihr nicht, Crithmum maritimum ist unter den Halophyten eine ausgezeichnete Felsenpflanze, die Salicornien bewohnen dagegen den sandigen Boden am Meere; die Segetalpflanzen sind, wiewohl sie die zu ihrem Fortkommen nöthigen Bodenbestandtheile auf jedem Terrain finden, wo Ammoniak liebende Pflanzen gedeihen, doch an das Getreide oder andere Culturpflanzen gebunden, weil sie einen lockeren Boden verlangen.

Und so finden wir allgemein, dass ein und der andere Bodenbestandtheil wohl in vielen Fällen entscheidet, ob eine Pflanze an einem bestimm-

ten Ort vorkommen kann oder nicht, während alle übrigen Schicksale derselben durch die mechanische Beschaffenheit des Bodens auf die mannigfaltigste Weise bedingt und bestimmt werden. Doch wäre es nicht sachgemäß, behaupten zu wollen, dass der Einfluss der chemischen Beschaffenheit des Bodens auf die Verbreitung und Vertheilung der Arten im Ganzen von geringer Bedeutung sei: kein verständiger Forscher wird seine Augen vor den zahlreichen klar sprechenden Thatsachen der Beobachtung verschließen; es giebt Erscheinungen im Pflanzenreich, die man unmöglich ohne Berücksichtigung der einzelnen wesentlichen Bestandtheile des Bodens erklären kann, es giebt aber auch solche, zu deren Enträthselung wir vergeblich an den Kalk im Boden, an die Abwesenheit desselben, an das Vorhandensein von Chlornatrium etc. appelliren und wobei uns die Würdigung der physikalischen Eigenschaften des Bodens allein richtig leitet; außerdem haben wir es noch mit einer Unzahl von Fällen zu thun, wo weder die eine noch die andere der beiden Erklärungsweisen oder — wie man zu sagen beliebt — Theorien genügt. Jedenfalls sollen wir uns hüten, diese beiden derart einander gegenüber zu stellen, dass Derjenige, der, noch unbefangen in der Beurtheilung solcher Fragen, Belehrung und nicht Controversen sucht, bemüßiget wäre die andere »Theorie« zu verwerfen, wenn er sich für die eine entschließt; denn beide Erklärungsweisen gehören in ein System, sie sollen einander ergänzen, nicht bekämpfen, da es Sache des Naturforschers ist, jedem Einfluss oder jeder Wirkung der waltenden Naturkräfte nach dem richtigen Maß Rechnung zu tragen und dieselbe im richtigen Verhältniss zu allen übrigen zu erkennen.
